

Hannu Kontturi

3D-mallinnuksen ja tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennusosalalla

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Hannu Kontturi

Työn nimi: 3D-mallinnuksen ja tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennusala

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2016 Sivumäärä: 66 Liitteiden lukumäärä:

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on avata 3D-mallinnuksen hyötyjä eri näkökulmista. Tietomallinnus on Suomessa tunnettu jo pitkään, mutta sen käyttöönotto on ollut hidasta.

Keskeinen syy tuotemallipohjaisen 3D-suunnittelun käyttöönotolle ja lisäämiselle on sen tuottama lisäarvo koko suunnittelu- ja rakentamisprosessille. Lisäarvoa syntyy erityisesti hankkeen parantuneen kokonaisprosessin hallinnan kautta

Työssä avataan lyhyesti muutamia 3D-mallinnusohjelmia. Lisäksi työssä esitellään 3D-mallintamista ArchiCAD-nimisellä sovelluksella ja käsitellään ohjelman tietomallinnusominaisuuksia.

Avainsanat: 3D, 3D-mallinnus, tietomalli

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Hannu Kontturi

Title of thesis: Utilisation of 3D-modelling and building information modelling in construction industry

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2016 Number of pages: 66 Number of appendices:

The purpose of the thesis was to introduce the benefits of modelling with 3D. In Finland, building information modelling has been on the market a long time but the implementation has happened slowly.

The main reason for the implementation and increasing the usage of building information 3D-modelling is to add additional value to the whole designing- and building process. Most of the additional value comes especially from improved building project management.

The thesis shortly introduced a couple of 3D-modelling programs. Also the thesis also introduced 3D-modelling using ArchiCAD-program and covered the features of building information modelling in the program.

.

Keywords: 3D, 3D-modelling, building information model

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	10
2 3D-MALLINNUS.....	11
2.1 3D-mallinnuksen historiaa.....	11
2.2 3D-mallinnuksen perusteet	14
2.3 3D-Ohjelmistot	16
2.3.1 Vertex	16
2.3.2 ArchiCAD.....	17
2.3.3 3ds Max	18
2.3.4 Enterprixe	18
2.3.5 Tekla.....	19
3 TIETOMALLI ELI BIM	21
3.1 Tietomallin ero 3D-malliin	Error! Bookmark not defined.
4 3D-MALLINNUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENTAMISESSA ...	25
4.1 Arkkitehtisuunnittelu.....	26
4.2 Rakennesuunnittelu	29
4.3 Määrälaskenta	34
4.4 Työnjohto	36
4.5 Aluesuunnitelma	37
4.6 Työturvallisuussuunnittelu.....	40
4.7 Talotekniikka	43
4.8 Kustannussuunnittelu.....	45
4.9 Ongelmat ja haasteet.....	47

5 Yleiset tietomallivaatimukset	49
6 CASE: KERROSTALON MALLINNUS ARCHICAD- SOVELLUKSELLA.....	51
6.1 ArchiCAD-ohjelman tietomallinnusominaisuudet	53
7 Yhteenveto.....	59
LÄHTEET	62

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Kolmiulotteinen malli Florencen katedraalista 1500-luvulta	11
Kuva 2. Ensimmäinen 3D-luokkahuone Las Vegasissa vuodelta 1996	14
Kuva 3. Erään projektin dokumenttipohjaisen määrälaskentaan tarkoitetut pdf-tiedostot	25
Kuvio 1. William Fetter. Ensimmäinen 3D-Malli 1960-luvulta	12
Kuvio 2. Tietokoneella tehty 3D-malli Amon Re -temppelistä	13
Kuvio 3. Ensimmäinen CAD-järjestelmällä mallinnettu 3D-rakennus Clunyn kirkosta vuodelta 1992	13
Kuvio 4. Vertex BD näkymä pientalosta	16
Kuvio 5. ArchiCAD 3D-malli	17
Kuvio 6. 3ds Max piirustusnäkymä	18
Kuvio 7. Enterprixe-malli	19
Kuvio 8. Teklalla saa luotua havainnollisia malleja	20
Kuvio 9. BIM eli tietomalli on useiden lohkojen kokonaisuus	21
Kuvio 10. Yhteinen tietomalli.....	23
Kuvio 11. 3D-malli ilman tietomallin sisältämää informaatiota	24
Kuvio 12. 3D-malli, missä on mukana tietomallin informaatio seinän rakenteesta	24
Kuvio 13. Tiedonsiirto ristiin eri osapuolien välillä	26
Kuvio 14. Tavallinen kaksiulotteinen malli.....	28
Kuvio 15. Kolmiulotteinen malli samasta rakennuksesta	29

Kuvio 16. Omakotitalon runko mallinnettu kolmiulotteisena	30
Kuvio 17. Monimutkaiset liitokset on helpompi havainnollistaa kolmiulotteisena ..	31
Kuvio 18. Teräsbetonipilarin valmistuspiirustus, joka saadaan sisällytettyä 3D-malliin.....	32
Kuvio 19. Rakennusosamallin tuoteosatiedosta tehty valmistajakohtainen ontelolaattaluettelo kuviosta 20.....	32
Kuvio 20. Alustava rakennemalli	33
Kuvio 21. Kolmiulotteisen mallinnusohjelman ja mitoitusohjelman vuorovaikutus	34
Kuvio 22. ArchiCAD-sovelluksella mallinnettu 3D-malli työmaasuunnitelmasta....	38
Kuvio 23. Perinteinen kaksiulotteinen runkovaiheen aluesuunnitelma.....	38
Kuvio 24. Animaatiomallinnus työmaan rakentumisesta.	39
Kuvio 25. Torninosturin säde	40
Kuvio 26. Mallinnus elementtiasennuksen putoamissuojauksen suunnittelussa...	42
Kuvio 27. Talotekniikkaa 3D-mallissa	43
Kuvio 28. Törmäystarkastelu on kolmiulotteisena havainnollista	44
Kuvio 29. Kolmiulotteinen suunnitelma talotekniikasta.....	45
Kuvio 30. Kustannusten muodostuminen rakennushankkeessa.....	46
Kuvio 31 Esimerkki eri objektien mallintamisesta ja objektityökalun soveltamisesta	50
Kuvio 32. Julkisivu luoteeseen ja lounaaseen.....	51
Kuvio 33. Julkisivu koilliseen ja kaakkoon.....	51
Kuvio 34. DWG-tiedonsiirto eri CAD-ohjelmien välillä.....	53

Kuvio 35. Tarkkojen detalji kuvien muokkaus onnistuu ArchiCAD-ohjelman sisällä.	53
Kuvio 36. Valmiista 3D-mallista saadaan useita 2D-kuvia	54
Kuvio 37. Mallista saadaan tuotettua ikkunaluetteloita.....	54
Kuvio 38. Lumon-objekti ArchiCAD:ssa.	55
Kuvio 39. Kerrosrakenteiden eri rakennekerrosten pinta-aloja.	56
Kuvio 40. Hintatietojen lisääminen objekteihin.	56
Kuvio 41. Archicadillä mallinnetun rakennuksen huonetilat. Väreillä on havainnollistettu eri tilaryhmiä	57
Kuvio 42. Yhteisen BIM-serverin käyttö	58
Kuvio 43. IFC-formaatin tiedonsiirto.....	58
 Taulukko 1. Teklalla mallinnetusta rakennuksesta saadaan helposti määräluetteloita	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

3D-grafiikkaohjelmisto	3D-grafiikkaohjelmisto tarkoittaa tietokoneohjelmaa, jolla luodaan 3D-grafiikkaa.
3D-mallinnus	3D-mallinnus eli kolmiulotteinen mallinnus tarkoittaa tietokoneavusteista kolmiulotteista suunnittelua tietokoneen kuvaruudulla.
2D-mallinnus	2D-mallinnuksessa on kaksi ulottuvuutta eli korkeus (x) ja leveys (y).
Tasomallinnus	Tasomallinnus eli 2D-mallinnus, jossa kohdetta katsotaan yläpuolelta.
Tietomalli	Rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa. Tämän kolmiulotteisen tietokonemallin tarkoituksena on koota kaikki tarvittava tieto yhteen, jotta tiedon hyödyntäminen on helppoa.
4D-malli	$4D = 3D + \text{aika}$, eli aika-ulottuvuuden linkittämistä 3D-mallin rakennusosa- ja tilaoloihin. Aika-ulottuvuus voi kuvata esim. rakennusosien asennuksen ajankohtaa, jolloin 4D-simuloinnilla voidaan visualisoida rakentamisen etenemistä ajassa. (Karstila, K.)
Dokumenttipohjainen malli	Hankkeeseen liittyvä tieto sisällytetään 2D-piirustuksiin ja erinäisiin asiakirjoihin.
IFC–formaatti	Suunnitteluohjelmien tiedoston tallennusmuoto, joka sisältää tiedon rakennusosien muodoista ja ominaisuuksista.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Nykyinen rakennussuunnittelu on muutosvaiheessa. Uudenaikainen 3D – suunnitteluun perustuva tietomallinnus on korvaamassa perinteisen tasomallinnuksen. Iso-Britanniassa vaaditaan vuodesta 2016 alkaen tietomallinnusta kaikissa julkisissa rakennushankkeissa (Blackwell 2012, 6). Sama suuntaus on nähtävillä myös Saksassa.

Sisustussuunnittelussa ja keittiösuunnittelussa 3D-mallinnusta on käytetty jo pitkiä aikoja. Havainnollisuus on huomattu hyödylliseksi näillä aloilla. Rakennusalalla 3D-mallinnus ei kuitenkaan ole saanut samanlaista kannatusta. Sitä vastoin rakennusalalla käytetään tasomallinnusta eli 2D-mallintamista, jossa kohdetta katsotaan yläpuolelta. Poikkeuksena on arkkitehtisuunnittelu, jossa 3D-mallinnusta käytetään aktiivisesti.

Suomalaisessa yhteiskunnassa 1990-luvulla tapahtunut toimintojen ja työnteon digitalisoituminen on luonnillisesti vaikuttanut perinpohjaisesti myös rakennusalan työympäristöjen muutoksiin. Digitalisoituminen alkoi jo 1980-luvulla ja se on vuosituhaten vaihteen jälkeen laajentunut varsin kattavaksi. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja 2006, 8). Viime aikoina kolmiulotteinen tietomallintaminen on puhuttanut paljon rakennusalalla ja se onkin tulevaisuuden suurimpia muutoksia rakennussuunnittelussa.

Noin puoli miljoonaa työllistävä rakennusala on Suomen laajin toimiala, joten kaikilla rakentamisessa tapahtuvilla muutoksilla on varsin suuri vaikutus myös valtakunnallisesti. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja 2006, 8.)

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella 3D-mallinnuksen käyttämistä rakennusalalla. Liittämällä kaikki rakennuksen suunnittelun osa-alueet yhteen

saadaan luotua kolmiulotteinen tietomalli. Tässä työssä ei kuitenkaan varsinaisesti keskitytä tietomallin läpikäymiseen, vaan tarkastellaan 3D-mallinnuksen käyttämistä eri osa-alueilla. Monessa kohtaa kuitenkin 3D-mallinnus ja tietomalli kulkevat käsikädessä. Tästä syystä 3D-mallia ja tietomallia ei voi tarkastella erikseen.

Työn tavoitteena on tarkastella tietomallinnuksen hyödyntämistä eri näkökulmista. 3D-mallinnus on suhteellisen tuntematon käsite rakennusosalalla, eikä sen hyötyjä siksi ostakaan käyttää. Vaikkakin rakennusteollisuus ja VTT ovat vuodesta 2004 lähtien tuottaneet aineistoa liittyen tietomallinnukseen ja sen vaatimuksiin. Tämän vuoksi haluankin työssä avata 3D-mallinnuksen lukuisia mahdollisuuksia.

1.3 Työn rakenne

Alussa tarkastellaan 3D-mallinnuksen historiaa, koska on tärkeää ymmärtää kuinka uusi asia 3D-mallinnus on yleensäkin. Tarkoituksena on myös avata hieman eri 3D-mallinnusohjelmia.

Seuraavaksi käsitellään tietomallinnusta ja sen eroavaisuuksia 3D-mallinnukseen. Pääpaino työssä on 3D-mallinnuksen hyödyntämisessä rakennusosalalla.

Opinnäytetyöhön sisältyy kerrostalon mallintaminen Ylistaroon. Mallilla haetaan Seinäjoen kaupungin kaavoitukselta kaavamuuotosta tontille. Lisäksi esitellään myös hieman ArchiCAD-ohjelmiston tietomallinnusominaisuuksia.

2 3D-MALLINNUS

2.1 3D-mallinnuksen historiaa

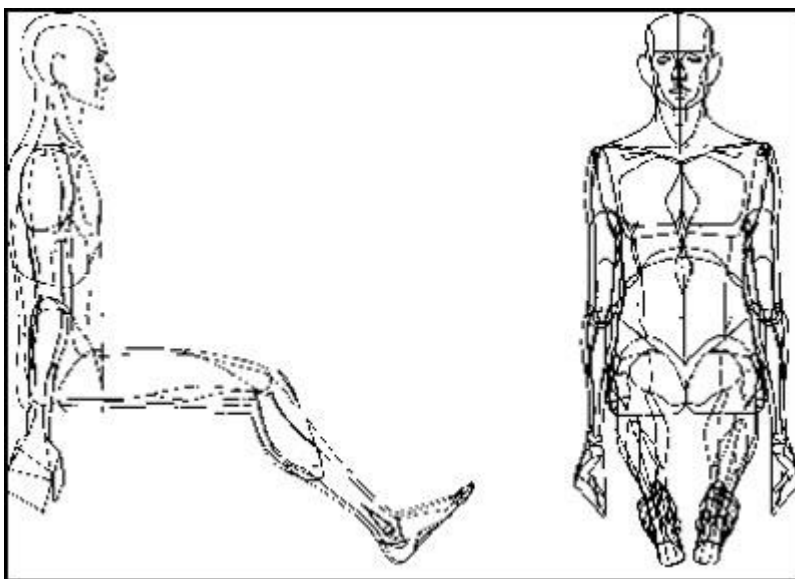
Jotta voi ymmärtää nykyaikaista 3D-mallinnusta, on tarpeellista miettiä mallinnuksen historiaa.

Rakentajat ovat kautta aikojen hahmotelleet rakennuksia 3D-mallintamalla. Vanhimmat arkkitehtuuriset 3D-mallit ovat ajalta 4600 vuotta ennen Kristusta. Vanhin malli, jonka tiedetään olleen rakentamisen työkaluna on 1500-luvulta (kuva 1). Tätä mallia on käytetty rakennettaessa Florencen katedraalia Roomassa. (Astbury 2015.)



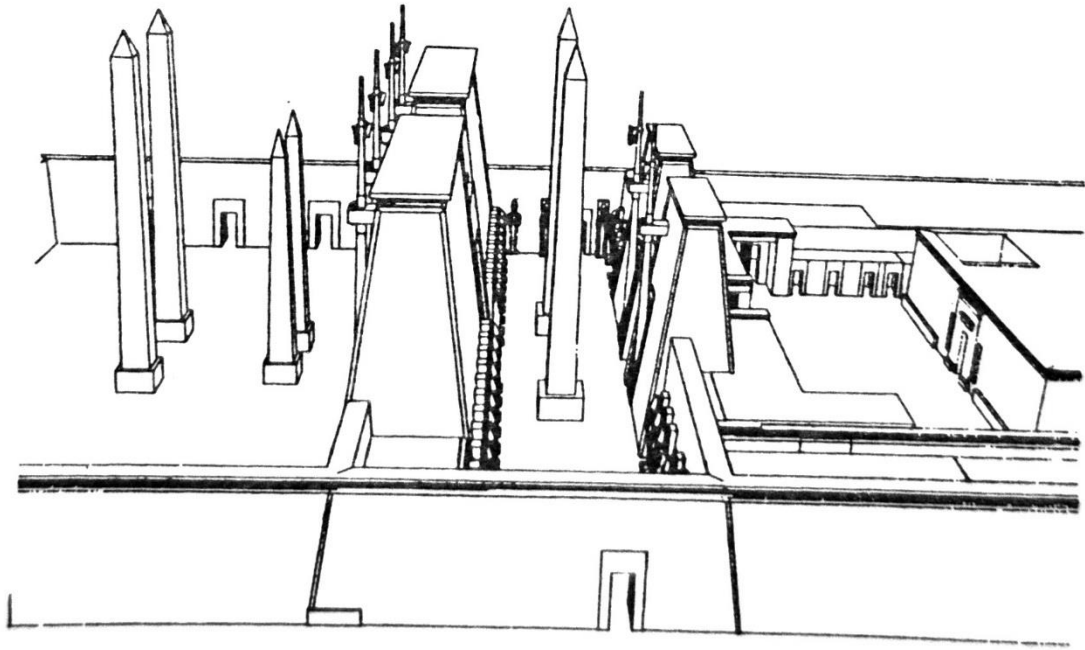
Kuva 1. Kolmiulotteinen malli Florencen katedraalista 1500-luvulta (Astbury 2015).

3D-grafiikkaohjelmistoihin perustuvan 3D-mallinnuksen juuret ulottuvat 1960-luvulle, jolloin voidaan katsoa ensimmäisen 3D-mallin ”syntyneen”. Ensimmäisen 3D-mallin loi suunnittelija William Fetter (kuvio 1). Mallia käytettiin suunniteltaessa Boeing matkustajalentokoneen ohjaamoa. Mallinnuksen tuloksena oli kolmiulotteinen malli ihmisestä, jota voitiin sovittaa ahtaaseen lentokoneen ohjaamoon. (Shklyar 2004.)



Kuvio 1. William Fetter. Ensimmäinen 3D-Malli 1960-luvulta (Shklyar 2004).

Tietokoneavusteista 3D-rakennussuunnittelua alettiin käyttää 1980-luvulla. Ensimmäinen tietokoneelle tehty 3D-malli on vuodelta 1985 (kuvio 2). Kuitenkin vasta 1990-luvulla 3D-grafiikkaohjelmat alkoivat yleistyä. Tämän jälkeen 3D-grafiikkaohjelmat ovat kehittyneet vauhdilla yhdessä nopeasti kehittyvän tietotekniikan kanssa. (Pletinckx 2014.)



Kuvio 2. Tietokoneella tehty 3D-malli Amon Re -temppelistä (Pletinckx 2014).

Ensimmäinen CAD-järjestelmällä piirretty 3D-rakennus mallinnettiin vuonna 1992. Tämä malli oli Clunyn kirkko Ranskassa. Malli tehtiin ENSAMin toimesta IBM-rahoituksella (kuvio 3).



Kuvio 3. Ensimmäinen CAD-järjestelmällä mallinnettu 3D-rakennus Clunyn kirkosta vuodelta 1992 (Pletinckx 2014).

Ensimmäinen virtuaalinen luokkahuone 3D-mallien tarkasteluun perustettiin vuonna 1996 Californian yliopistossa Las Vegasissa (kuva 2). Huoneen tarkoituksena oli suunnitella kunnostustöitä Rooman vanhaan osaan. (Pletinckx 2014.)



Kuva 2. Ensimmäinen 3D-luokkahuone Las Vegasissa vuodelta 1996 (Pletinckx 2014).

1990-luvun murroksesta lähtien 3D-mallinnuksesta on tullut monelle alalle tärkeä ja jopa välttämätön työkalu. Nykyään 3D-mallinnusta käytetään taideteosten, talojen, laitteiden tai niiden osien valmistamiseen tai esimerkiksi virtuaalisena ympäristönä kolmiulotteista grafiikkaa sisältävissä tietokonepeleissä tai elokuvissa. (Pletinckx 2014.)

2.2 3D-mallinnuksen perusteet

3D-mallinnus tarkoittaa kolmiulotteisen mallin luomista. Ohjelmia 3D-mallin luomiseen on useita. Näistä monet ovat kehittyneet CAD-pohjaisista 1990-luvulla kehitetyistä ohjelmistoista. 1990-luvun alkupuolella rakennussuunnittelu tapahtui useimmiten käsin piirtämällä. Tämä oli työlästä ja aikaa vievää. 1990-luvun lopulla käsin piirtämisen tilalle saatiin tietokoneohjelmat, jotka nopeuttivat suunnittelua

huomattavasti. 2000-luvulle siirryttäessä suunnittelu olikin lähes täysin digitalisoitunut. (Shklyar 2004.)

2000-luvun alkupuolella rakennussuunnittelu oli pääsääntöisesti 2D-mallinnusta. Tämä digitaalinen mallinnus mahdollisti paremman tarkkuuden piirtämiseen. Piirustuksia oli näin paljon helpompi ja nopeampi jakaa sähköisesti. Malleja pystyttiin myös muokkaamaan rajattomasti. Digitaalisesta mallista saatiin tiedot määrälaskentaan huomattavasti helpommin kuin käsin piirretystä mallista. (Murphy, McGovern & Pavia, 2011, 1).

2000-luvun puolivälissä alkoivat 2D-pohjaisien mallien rinnalle nousta myös 3D-mallit. Siirtyminen 2D-mallista 3D-malliin on verrattavissa siirtymiseen käsin piirtämisestä 2D-mallintamiseen. 3D-malli tarkoittaa entisestään suunnittelua. 2D-suunnittelussa monet ongelmakohdat jäivät huomaamatta, koska kuvaa katsotaan yläpuolelta. Ongelmat ilmenevätkin vasta työmaalla toteutusvaiheessa. 3D-mallista tällaiset ongelmakohdat pystyy havaitsemaan jo suunnitteluvaiheessa.

3D-grafiikkaohjelmistoilla pystytään liittämään useita malleja yhteen ja tekemään malleista animaatioita. Mallien yhteen liittäminen onkin iso eroavaisuus kolmiulotteisen ja kaksiulotteisen mallinnuksen välillä. Kaksiulotteisessa mallissa useiden eri mallien liittäminen yhteen malliin on lähes mahdotonta. Tästä mallista tulisi liian sotkuinen tulkittavaksi.

3D-Mallintaminen ja perinteinen 2D-piirtäminen kuitenkin eroavat monilta osin toisistaan. Koordinaatistossa voimme ajatella x- ja y-akselien kuvaavan 2D:tä ja kun mukaan lisätään z-akseli (syvyys), muodostuu koordinaatistoon 3D.

3D-mallintaminen on siis 3-ulotteista mallintamista. 3D-mallista voimme tutkia tekemäämme kappaletta tai osaa monissa eri kuvakulmissa ilman suurta työstämistä. Tämä nopeuttaa työtä ja mahdollistaa monia erinäisiä sovelluksia, joissa tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää

2.3 3D-Ohjelmistot

3D-mallinnusohjelmistoja on runsaasti. Hinnat ja käyttötarkoitukset näiden ohjelmien välillä vaihtelevat suuresti. On myös avoimeen lähdekoodiin perustuvia ilmaisia 3D-mallinnusohjelmistoja, kuten SketchUp. Tässä osiossa esitellään lyhyesti muutamaa rakennusalaalla käytettävää 3D-mallinnusohjelmaa

2.3.1 Vertex

Vertex BD on tehokas 3D-mallinnusohjelma, jolla on mahdollista samanaikainen työskentely 3D-ympäristössä ja 2D-tasonäkymissä. Tämä ominaisuus nopeuttaa ja helpottaa monia työvaiheita. Luonnosteluvaiheen malli täydentyy suunnitteluprosessin edetessä aina lopullisiin lupa- ja valmistuspiirustuksiin saakka. Rakennuksen kaikki oleellinen tieto sisältyy älykkään 3D-tietomallin rakennusosiin (kuvio 4). Kun malli toimii ainoana tietolähteenä, muutosten hallinta on helppoa, kustannusten arviointi on vaivatonta, ja dokumentit ovat aina hallinnassa. (Vertex 2016.)



Kuvio 4. Vertex BD näkymä pientalosta (Vertex 2016).

2.3.2 ArchiCAD

ArchiCAD on rakennussuunnittelijan näkökulmasta kehitetty suunnittelijan työkalu. ArchiCAD-ohjelma pohjautuu ajatukseen rakennuksen simuloinnista. ArchiCADilla suunnittelija luo kolmiulotteista rakennusmallia (kuvio 5). Rakennusosiin perustuvassa järjestelmässä hahmotellaan ja muodostetaan virtuaalista rakennusta. Samalla, kun talo hahmottuu tietokoneen näytöllä, syntyvät myös kaikki piirustukset. (MAD 2016.)

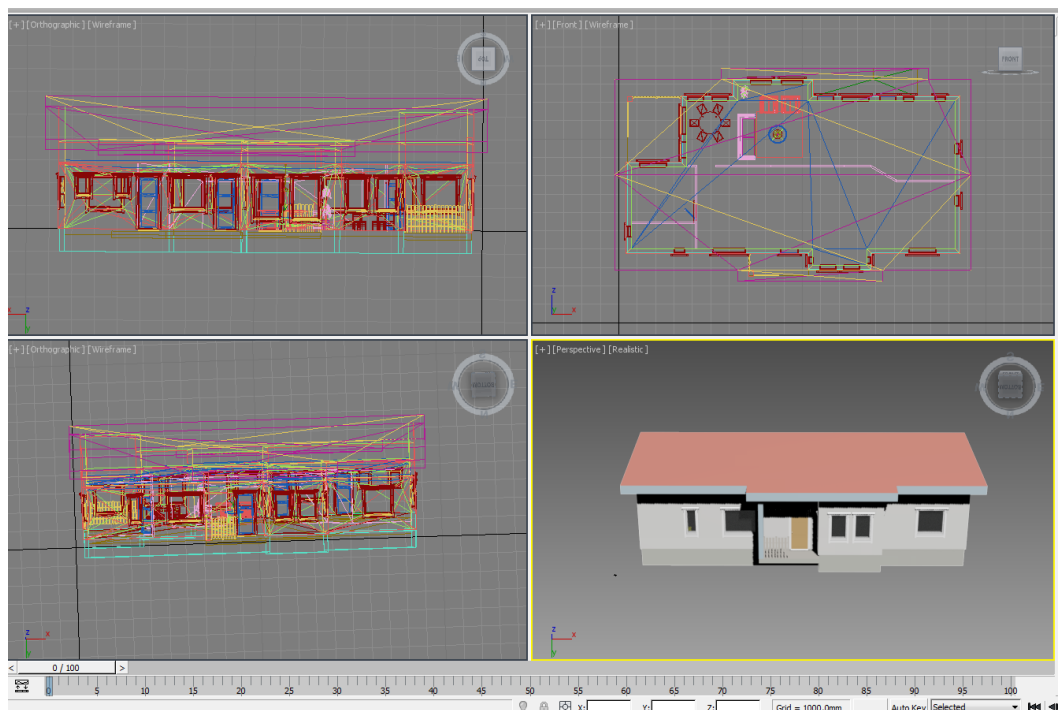


Kuvio 5. ArchiCAD 3D-malli

ArchiCADissa rakennus on yksi tiedosto, johon sisältyvät kaikki piirustukset. Muutokset päivittyvät aina automaattisesti kaikkiin piirustuksiin. Virheet vähenevät radikaalisti verrattuna muihin työmenetelmiin. Rakennuttaja saa tarkat määrätiedot, automaattiset aukkokaaviot ja jopa työselityksen. Virtuaalinen rakennus voidaan siirtää edelleen kiinteistönhallintaan. (MAD 2016.)

2.3.3 3ds Max

Autodesk 3ds Max on kolmiulotteinen mallinnus- ja renderöintisovellus, jota käytetään luotaessa yksittäisiä kolmiulotteisia kuvia tai animaatiota, sekä tehtäessä sisältöä muille kolmiulotteisille sovelluksille. 3ds Max:lla on suhteellisen helppo luoda visuaalisia malleja (kuvio 6) (Autodesk 2016.)



Kuvio 6. 3ds Max piirustusnäkö

3ds Maxissa luodaan rakennusten visualisointeja 3D-mallinnuksella. Ohjelmisto on arkkitehdeille, suunnittelijoille ja visualisoinnin asiantuntijoille kehittynyt 3D-rakentamisen visualisointityökalu. (Autodesk 2016.) 3ds Max ei tarjoa rakennussuunnittelijalle yhtä paljon työkaluja kuin esimerkiksi ArchiCAD.

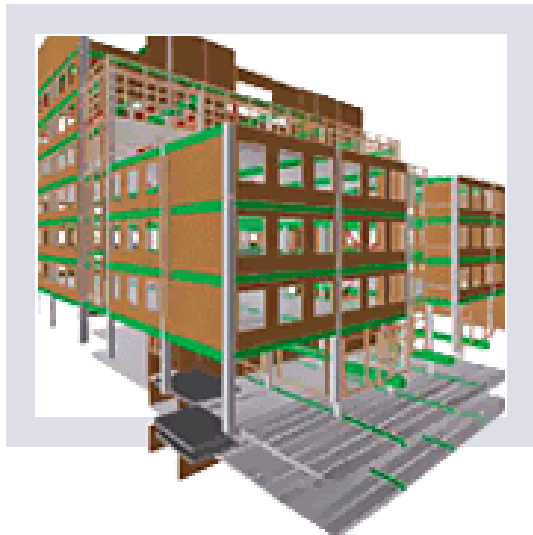
2.3.4 Enterprie

Enterprie on Internet-pohjainen kolmiulotteinen mallinnus-, suunnittelu- ja informaatiojärjestelmä rakennuksen elinkaarenaikaiseen tiedonhallintaan. Enterprien ydin on Internetissä toimiva 3D-tuotemallipalvelin. Se mahdollistaa reaaliaikaisen, interaktiivisen, yhteen, yhteiseen malliin perustuvan, kaikkien

osapuolien välisen suunnitteluyhteistyön. Auktorisoitu käyttäjä voi kytkeytyä malliin Internetin välityksellä milloin vain, mistä vain. Malliin voidaan tallentaa kaikki relevantti tieto, jota eri osapuolet rakennuksen elinkaaren aikana tarvitsevat. Malliin voidaan kytkeytyä käyttäen monia yleisesti käytössä olevia ohjelmia kuten esim. AutoCAD, ADT ja Excel. (Romo & Varis 2004, 37.)

Enterprixen keskeinen osa-alue on rakennesuunnittelijoiden käyttöön kehitetty 3D-rakenteiden mallinnusympäristö. Tämä osuus ohjelmaa asentuu käyttäjän omalle koneelle ja sen avulla voidaan tuottaa rakennemallin 3D-detalleja ja niistä puoliautomaattisesti tarvittavia raportteja, kuten piirustuksia ja luetteloita. (Romo & Varis 2004, 37.)

Enterprixen tuotemallitietoa käytetään betonielementtitehtaan ja rakennustyömaan toimintojen suunnittelussa ja mahdollisten aikatauluongelmien analysoinnissa ennen varsinaisten ongelmien ilmaantumista. Rakennuksen valmistuttua samaa tuotemallitietoa hyödynnetään rakennuksen ylläpidossa, vuokralaisen toimintojen optimoinnissa ja mm. markkinoinnissa. (Romo & Varis 2004, 37.)



Kuvio 7. Enterprixe-malli
(Enterprixe 2016).

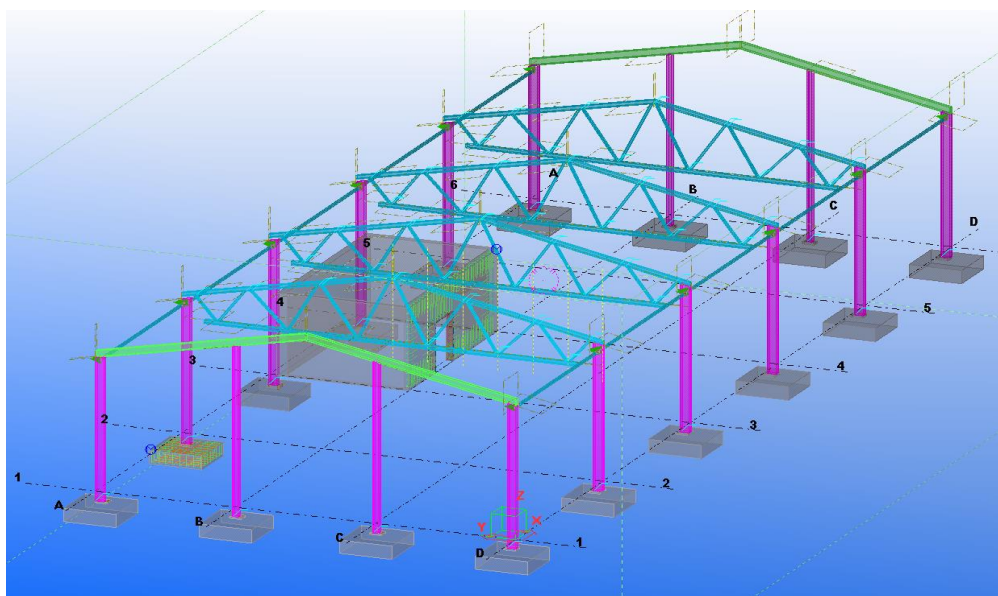
2.3.5 Tekla

Tekla Structuresilla voi mallintaa kaiken tyyppisiä rakenteita mistä tahansa materiaalista tai sisällyttää useita materiaaleja yhteen 3D-malliin (kuvio 8). Tekla

Structures voidaan yhdistää tärkeimpiin tuotannon- tai resurssisuunnittelujärjestelmiin ja koneiden ohjausjärjestelmiin, joita teräsrakenteiden, betonielementtien ja raudoitusten valmistajat käyttävät. Tuotantotiedot voidaan siirtää automaattisesti Tekla-mallista näihin järjestelmiin, mikä vähentää manuaalisia töitä ja virheitä (taulukko 1). Piirustukset voidaan hakea mallista, ja ne päivittyvät mallin mukana. Mallia voi käyttää myös määrälaskentaan. (Tekla 2016.)

Profile	Grade	Qty	Length(m m)	Net Area(m ²) for one	Net Area(m ²) for all	Net Wiegtht(k g) for one	Net Wiegtht(k g) for all
300*1000	C32/40	4	1000	3,20	12,80	750,00	3000,00
	Total	4	4000		12,80		3000,00
BL200*50	Timber_U ndefined	7	5299,06	2,67	18,69	31,79	222,56
	Total	7	37093		18,69		222,56
CFRHS150X100X6	S355J2H	2	4270	2,05	2,05	95,73	95,73
CFRHS150X100X6	S355J2H	2	3470	1,66	3,32	77,80	155,59
	Total	5	15500		7,42		347,50
IPE200	S235JR	2	5000	3,84	7,68	106,95	213,90
	Total	2	10000		7,68		213,90
PL10*150	S355J2G3	4	200	0,07	0,27	2,35	9,42
	Total	4	800		0,27		9,42
PL20*150	S355J2	4	200	0,07	0,30	4,71	18,84
	Total	4	800		0,30		18,84
Total					47,16		3812,22

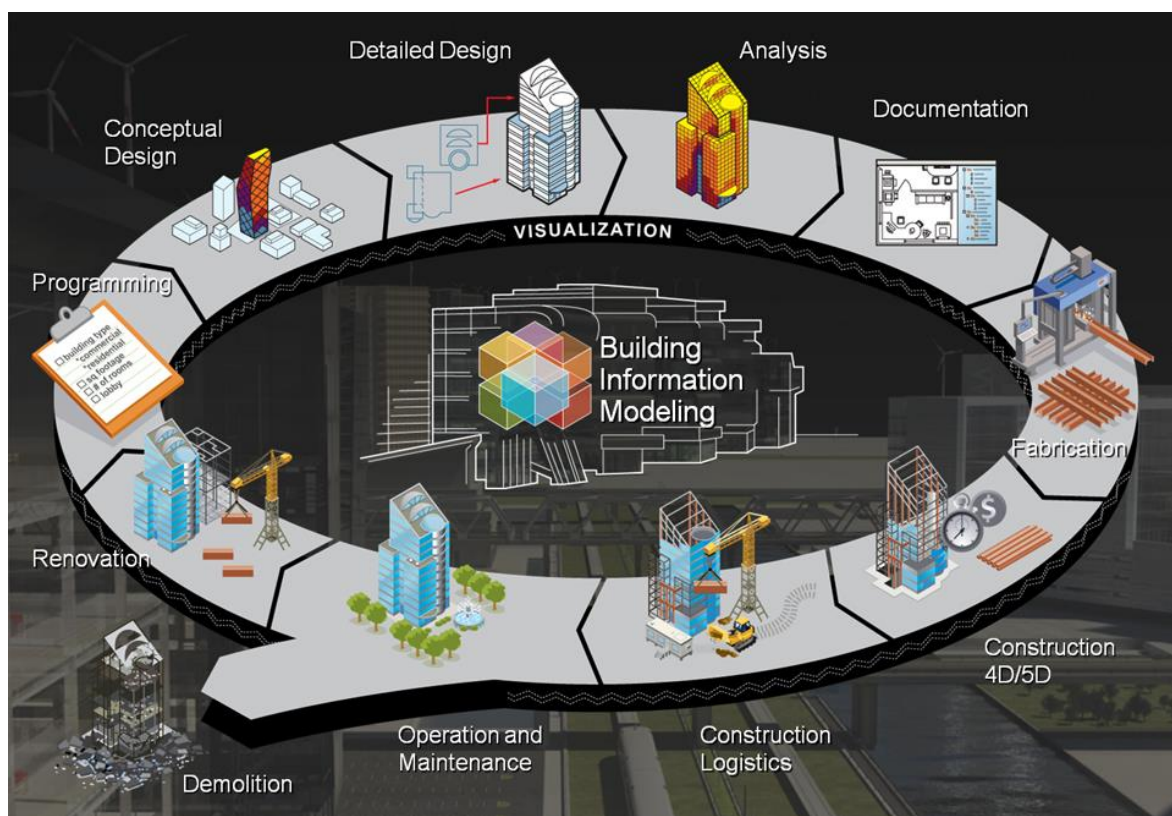
Taulukko 1. Teklalla mallinnetusta rakennuksesta saadaan helposti määräluetteloita.



Kuvio 8. Teklalla saa luotua havainnollisia malleja.

3 TIETOMALLI ELI BIM

Building Information Modelling eli tietomalli on Suomessa melko uusi käsite. Tietomalli on rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa (kuvio 9). Tämän kolmiulotteisen tietokonemallin tarkoituksena on koota kaikki tarvittava tieto yhteen, jotta tiedon hyödyntäminen on helppoa. Tietomallissa on siis integroitu kaikki rakennusprosessin vaiheet kuten rakennesuunnittelu, arkkitehtisuunnittelu, talotekniikkasuunnittelu ja työmaatekniikka. Tietomalliin on myös mahdollista sisällyttää rakennuksen huoltoon liittyvää informaatio, jota voidaan käyttää rakennuksen ylläpitoon.



Kuvio 9. BIM eli tietomalli on useiden lohkojen kokonaisuus (Dispenza 2010).

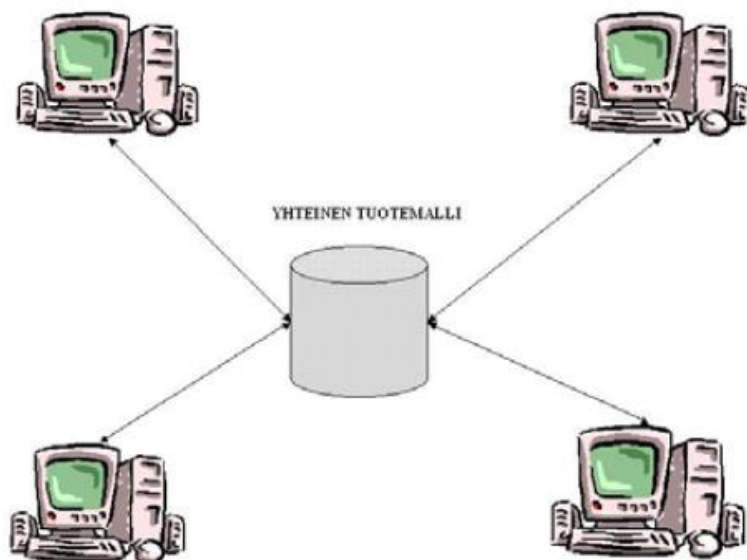
Perinteiseen dokumenttipohjaiseen toimintatapaan nähden hankkeen tiedot eivät ole hajallaan eri piirustuksissa ja raporteissa vaan mallissa, josta voidaan tulostaa aina kulloinkin tarvittavat dokumentit. Dokumenttien tietosisältö voidaan sovittaa vastaamaan kunkin käyttäjän tarpeita. Esimerkiksi työvaihekohtaiset kuvat on

helppo ottaa perinteistä piirustusta riisutummalla tietosisällöllä, mikä helpottaa ja nopeuttaa niiden tulkintaa ja käyttöä. Erilaiset havainnekuvat on helposti tulostettavissa. (RIL 2013).

Tietomallipohjaisella suunnittelulla tuotetaan yksityiskohtainen 3D-rakennemalli, jota voidaan hyödyntää suunnittelu- ja rakennusprosessin eri vaiheissa. Kolmiulotteisesta tietomallista saatavan monipuolisen tiedon avulla rakennushankkeen suunnittelu helpottuu, toteuttaminen nopeutuu ja koko rakennusketjun tekemä työ tehostuu. (Anttila 2009.)

Tietomalli tarjoaa lisäarvoa asiakaspalveluun muun muassa tuottamalla hyödyllistä tietoa päätöksenteon tueksi ja visualisoimalla sekä vertailemalla vaihtoehtoja toiminnallisesti ja kustannuksiltaan. Rakentamisen laatu ja tuottavuus parantuu, koska saadaan tuotettua käyttökelpoisempaa tietoa hyödynnettäväksi tuotannosuunnitteluun, kustannus- ja aikatauluhallintaan sekä rakennustuotteiden valmistukseen ja hankintaan. Tietomalli tarjoaa myös työkaluja elinkaaren hallintaan tuottamalla rakennuksen koko elinkaarta käsittelevää tietoa. Tämän tiedon avulla elinkaarikustannukset ja ympäristövaikutukset voidaan ottaa paremmin huomioon suunnittelussa. Mallia voidaan monin tavoin käyttää hyväksi rakennusten käytössä ja ylläpidossa. (Romo & Varis 2004, 1.)

Tietomallinnuksessa muutoksen hallinta voidaan toteuttaa käyttämällä yhteistä tietomallia. Tällöin muutokset päivittyvät mallin kaikkiin eri osa-aleisiin, kuten rakennesuunnitteluun ja talotekniikkasuunnitteluun. Perinteisessä dokumenttipohjaisessa mallintamisessa on riskinä, että muutokset eivät päivity kaikkiin suunnitelmiin. Tietomallissa tätä ongelmaa ei ole (kuvio 10). (Romo & Varis 2004, 33)



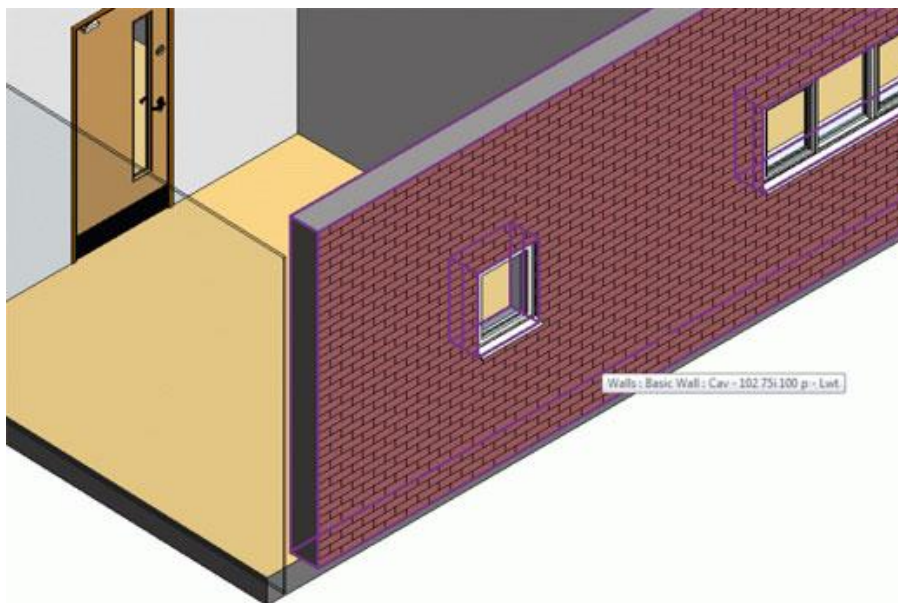
Kuvio 10. Yhteinen tietomalli
(Romo & Varis 2004, 33).

Uusi teknologia kuten pilvipalvelut mahdollistavat yhteisen tietomallin käytön. Pilvipalvelut mahdollistavat informaation saatavilla olemisen kaikille projektin osapuolille. Tietomalli on myös aina päivitetty, koska kaikki osapuolet käyttävät samaa mallia. (Nawari 2012, 18.)

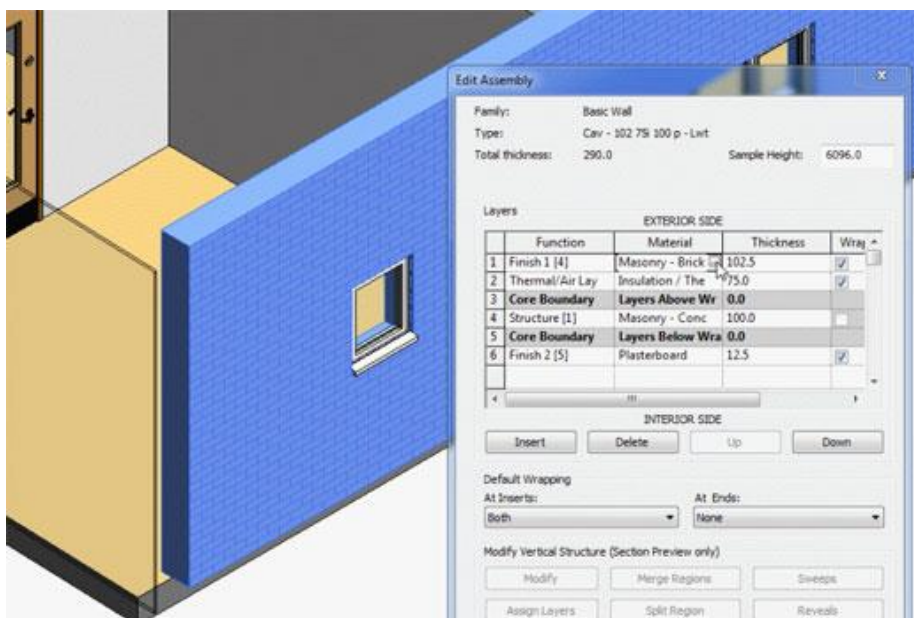
Tietomallista saadaan siis helposti eri rakentamisen vaiheisiin tarvittavia tietoja. Tällöin ei aikaa kulu etsittäessä dokumenttipohjaisista suunnitelmista tietoja. Tietomallista saadaan muun muassa 2D-kuvia, määräluetteloja, ja asennussuunnitelmia ulos muutamalla napin painalluksella. Tietomalli tuottaa täsmällisempää tietoa ja vähentää suunnitteluvirheitä, parantaa suunnitelmien yhteensopivuutta ja edistää eri suunnittelijoiden välistä yhteistyötä.

Tietomalli ei ole pelkästään 3D-malli. Ei tule siis sekoittaa tietomallinnusta ja 3D-mallinnusta. Tietomalli on 3D-malleista muodostuva kokonaisuus, joka sisältää paljon enemmän informaatiota, kuin pelkkä 3D-malli. Asian voi ymmärtää ajatteleamalla 3D-mallia maallikon visuaalisella havainnoilla rakennuksesta. Maallikko näkee rakennuksen kolmiulotteisena, mutta ei ymmärrä mistä osista rakennus koostuu. Rakennusalan ammattilainen kuitenkin näkee samasta rakennuksesta paljon enemmän kuin pelkän visuaalisen kolmiulotteisen kuvan. Hän

tietää mistä osista kyseinen rakennus koostuu. Helpoiten asian voi havainnollistaa alla olevilla kuvioilla (kuvio 11 ja 12). (Hamil 2011.)



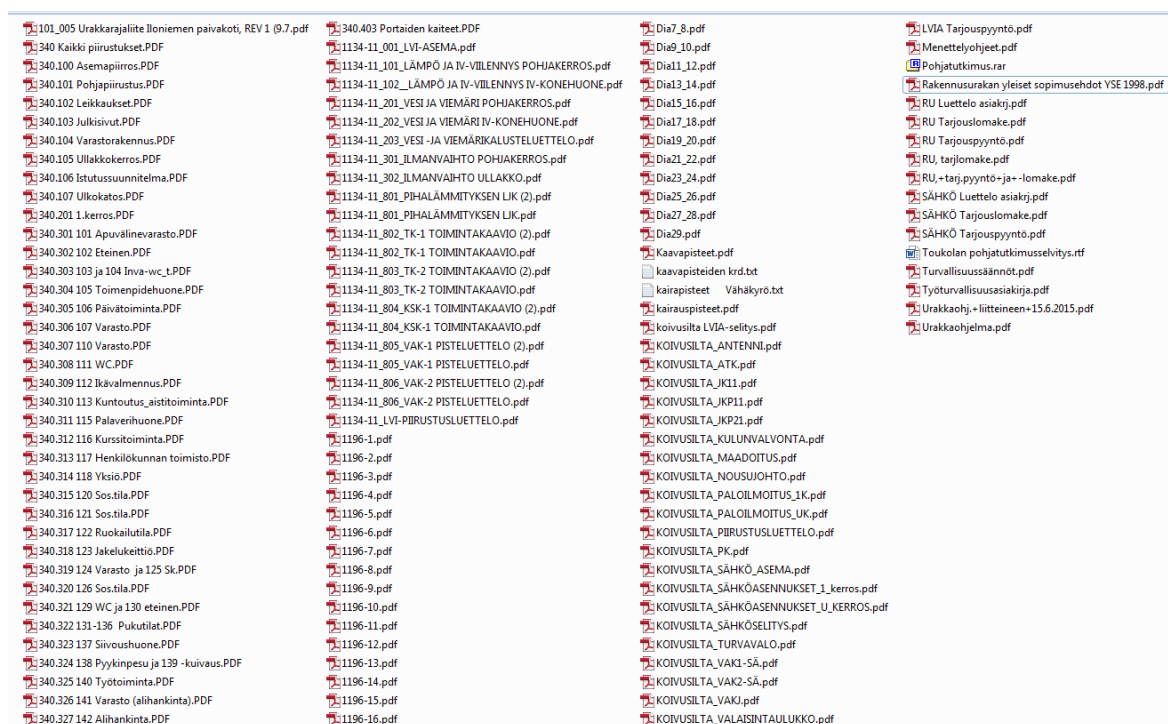
Kuvio 11. 3D-malli ilman tietomallin sisältämää informaatiota (Hamil 2011).



Kuvio 12. 3D-malli, missä on mukana tietomallin informaatio seinän rakenteesta (Hamil 2011).

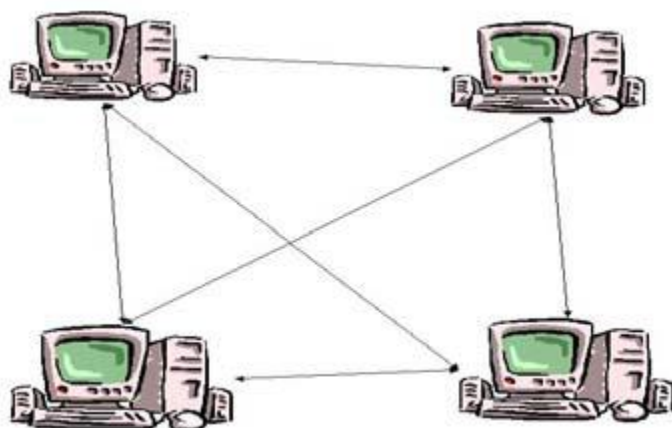
4 3D-MALLINNUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENTAMISESSA

Monet rakennusyritykset käyttävät suunnittelussa dokumenttipohjaista 2D-mallinnusta. Siirtyminen 3D-mallinnukseen on ollut hidasta, vaikkakin 3D-grafiikkaohjelmia on tarjolla monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Monessa yrityksessä on käytössä 3D-mallinnus ja 2D-mallinnus rinnakkain. 2D-mallinnuksella toteutettu suunnittelu tuottaa runsaasti dokumentteja (kuva 3). Tiedon löytäminen näiden dokumenttien sisältä on usein hankalaa ja aikaa vievää.



Kuva 3. Erään projektin dokumenttipohjaisen määrälaskentaan tarkoitetut pdf-tiedostot.

Isoissa rakennusprojektissa on useita eri suunnittelijoita, esimerkiksi arkkitehti, rakenne-, LVI-suunnittelija ja niin edelleen. Muutosten tiedottamisen hoitaa tällöin pääsääntöisesti suunnittelija. Tällöin suurena riskinä on, ettei tieto saavuta kaikkia osapuolia, joiden suunnitelmiin muutoksilla on merkitystä. Muutosmenettely on myös hidasta johtuen useista peräkkäin tapahtuvista tiedon- ja tiedostonsiirroista (kuvio 13). (Penttilä, Nissinen & Niemenoja. 2006, 25.)



Kuvio 13. Tiedonsiirto ristiin eri osapuolien välillä (Romo & Varis 2004, 34).

Dokumenttipohjaisessa suunnittelussa muutosten tekeminen yhteen dokumenttiin vaatii monesti muutoksia myös muihin dokumentteihin. Tästä syntyy monimutkainen prosessi, jossa syntyy helposti virheitä kun ei osata ottaa huomioon kaikkia vaikuttavia tekijöitä.

Dokumenttipohjaisessa mallintamisessa on erilliset rakenne-, sähkö- ja LVI-suunnittelijoiden sekä kalustevalmistajien laatimat omat teknisin merkein, symbolein ja selityksin kirjaillut paperiset suunnitelmat. Usein vain rakennusalan ammattilaisilla on valmiudet ymmärtää merkintöjä. Asiakkaan puolestaan on tällöin vaikea hahmottaa kokonaisuutta. Monesti hän joutuukin luottamaan sokeasti siihen, mitä suunnittelijat kuvillaan tahtovat. 3D-mallissa rakennus voidaan visualisoida niin yksinkertaiseen muotoon, että myös asiakkaat, joilla ei ole alan koulutusta, ymmärtävät ne.

4.1 Arkkitehtisuunnittelu

Arkkitehtisuunnittelu on rakennussuunnittelun osa-alue, jolla tarkoitetaan yleensä rakennuksen yleissuunnittelua, rakennuksen sijoittelua, ulkoasun, muodon ja tilojen

suunnittelua. Arkkitehtisuunnittelun tehtävänä on muiden suunnittelijoiden tukemana yhdistää tilaajan tavoitteet ja ulkonäkövaatimukset. (Shapiro 1988.)

Ennen arkkitehdit kertoivat asiakkaalleen ideoistaan paperilla tai muovikalvoilla, 2-ulotteisina piirroksina. Sen lisäksi asiakkaalle tarjottiin erilliset rakenne-, sähkö- ja LVI-suunnittelijoiden sekä kalustevalmistajien laatimat piirustukset. Piirustukset sisälsivät omat tekniset merkit, symbolit ja selitykset. Usein vain rakennusalan ammattilaisilla oli valmiudet ymmärtää näitä merkintöjä. Maallikkoasiakkaan puolestaan oli vaikea hahmottaa kokonaisuutta. Hänen tulikin vain sokeasti luottaa siihen, mitä suunnittelijat kuvillaan tahtoivat. (Pilari 2010, 3.)

3D-suunnittelussa arkkitehti esittää suunnitteilla olevan rakennuksen kolmiulotteisena mallina. Lisäksi hän voi esitellä ideansa myös hyvin todenperäisten kuvien ja animaatioiden avulla. Myös virtuaaliset matkat mallin sisälle ovat mahdollisia. Mittasuhteiden muunnokset, tilojen jäsentely ja vaihtoehtojen tarkastelu sekä materiaalien testaukset käyvät vaivatta mallintamisen keinoin. Asiakas pääsee jo suunnittelun edetessä tarkastelemaan rakennusta virtuaalisesti sisä- ja ulkopuolelta eri näkökulmista, havainnoimaan eri vaihtoehtoja, niiden toimivuutta ja kustannusvaikutuksia sekä ennen kaikkea vaikuttamaan siihen, mitä on tilaamassa. Myös muutostoiveet suunnitelmiin ovat kivuttomampia toteuttaa perinteiseen suunniteluun verrattuna. (Pilari 2010, 4.)

Arkkitehtimalli toimii pohjana kaikille muille malleille ja on keskeinen osa myös monia analyyskejä ja simulointeja. Siksi on ensiarvoisen tärkeää, että arkkitehtimalli tehdään teknisesti oikein kaikissa projektin vaiheissa. (RT 10-11068 2012,1.). Tässä vaiheessa kolmiulotteisuus helpottaa arkkitehdin hahmotuskykyä ja mallin oikeellisuutta.

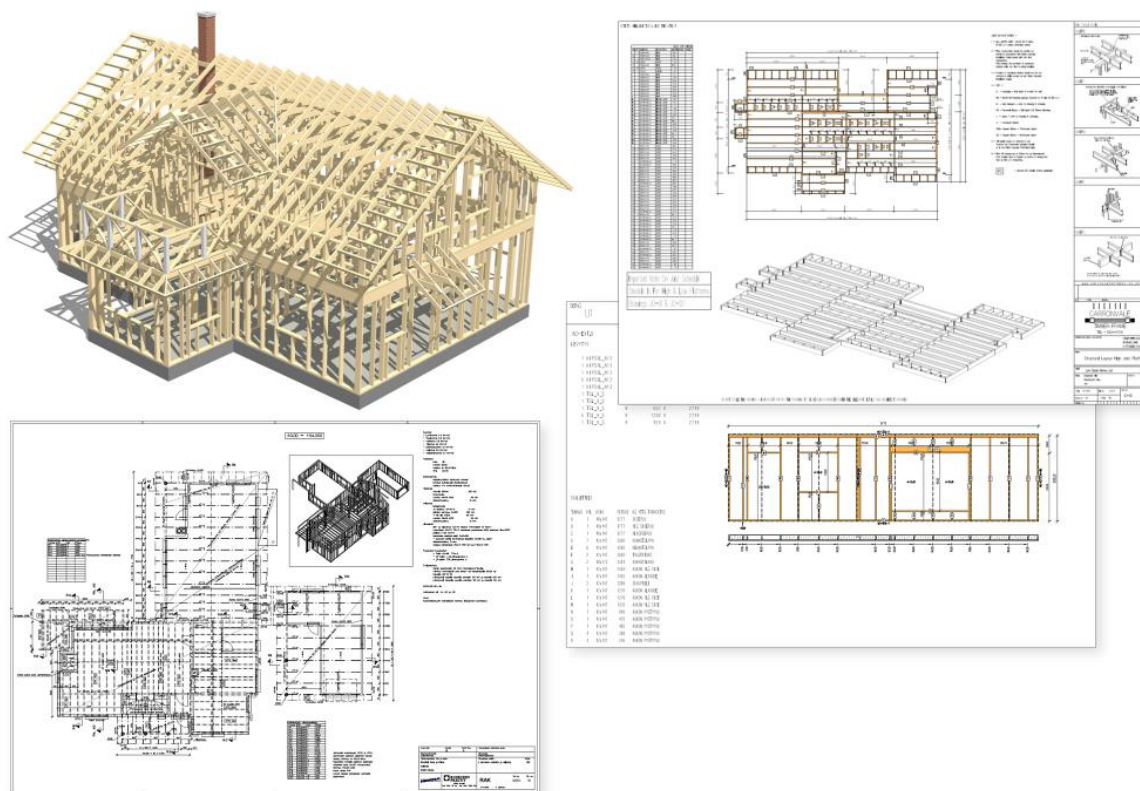
Hankkeessa pääsuunnittelijana olevalle arkkitehdille suurin hyöty kolmiulotteista tietomallista on mallien ristiriidattomuuden ja virheettömyyden tarkastaminen. Suunnitteluvaiheita pystytään tehostamaan, laatu paranee, turhia työvaiheita saadaan karsittua pois ja näin ollen syntyy kustannussäästöjä. Tilanhallintaa tehtäessä voidaan tiloille antaa useita eri käyttötapoja (siivoustila, työhuone, kokoustila) ja myöhemmässä vaiheessa mahdollisten muutosten kohdalla vertailu



Kuvio 15. Kolmiulotteinen malli samasta rakennuksesta (Vertex 2015).

4.2 Rakennesuunnittelu

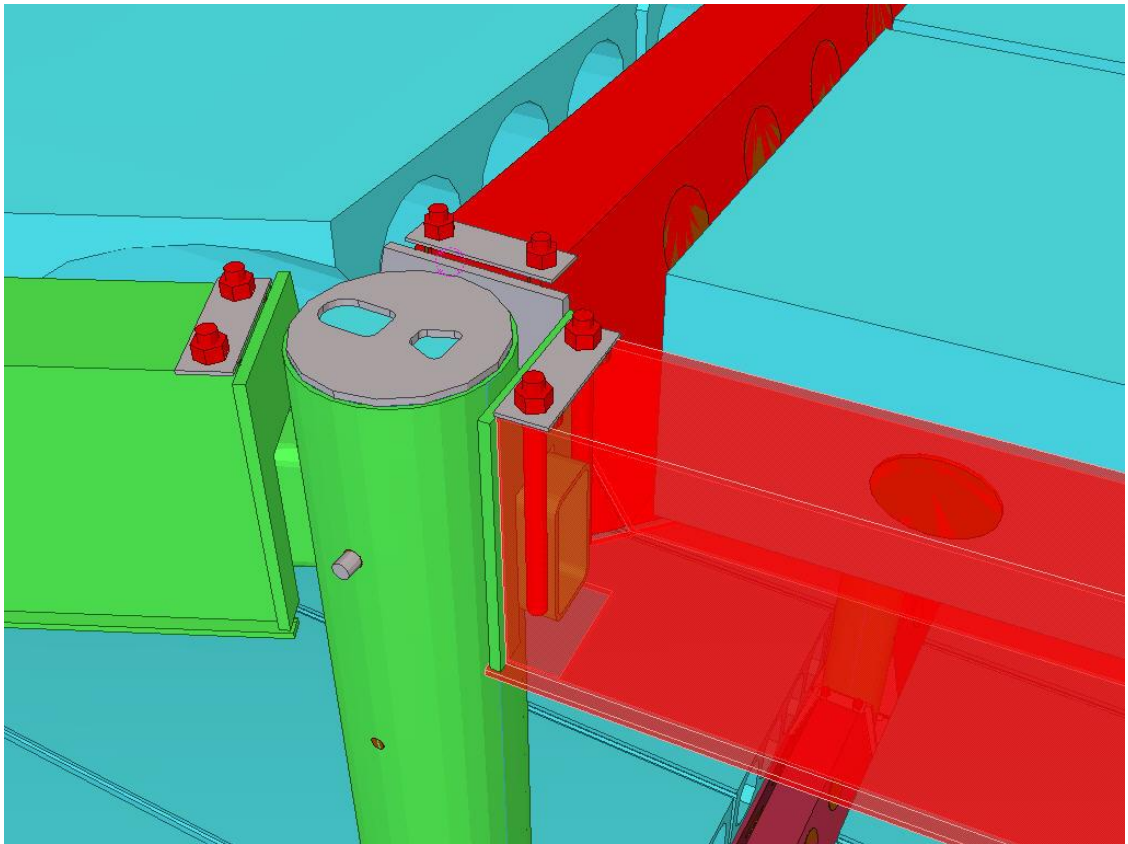
Uusien metodien ja ohjelmistojen käyttö on yksi tärkeimmistä asioista, millä rakennesuunnittelijat pystyvät kilpailemaan. Rakennesuunnittelijat etsivät kilpailussa keskenään yhä edullisempia keinoja toteuttaa rakenteet. Yksi keino löytää edullisempia rakenteita on tehdä suunnitelmista yhä selvempiä (kuvio 16). (Hunt De Leon 2013, 1.)



Kuvio 16. Omakotitalon runko mallinnettu kolmiulotteisena (Vertex 2016).

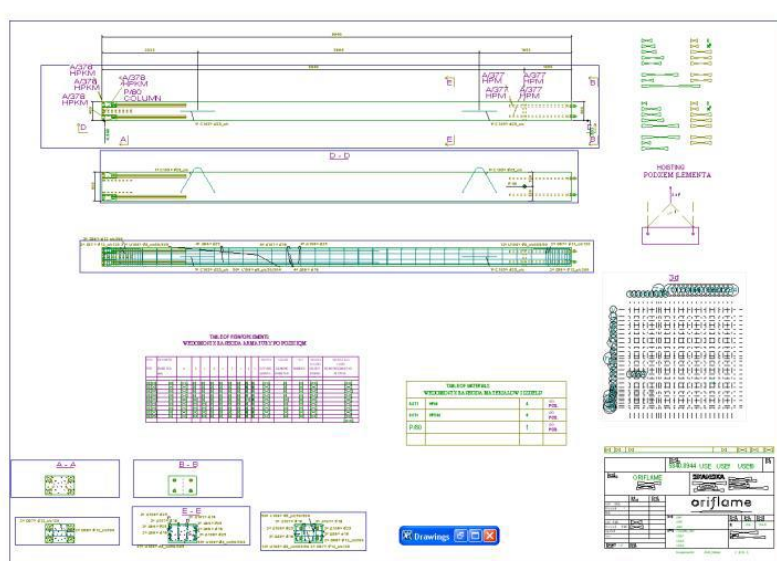
Rakennesuunnittelija saa kolmiulotteisesta mallinnuksesta monia etuja. Yksin tärkeimmistä on mallin jatkuva päivittyminen. Rakenteeseen tehtävät muutokset päivittyvät saman tien koko malliin pitäen rakennemallin jatkuvasti ajantasaisena. (Azhar 2011.)

Tärkeitä ominaisuuksia kolmiulotteisessa mallinnuksessa on suunnitelmien ymmärrettävyys, rakenteiden helppo analysointi ja rakenteiden yksityiskohtien tarkastelu (kuva 20). Näin vältetään monilta suunnittelusta johtuvilta rakennusvirheiltä. Kolmiulotteiset mallit auttavat hahmottamaan suunnitelmien kokonaiskuvan ja kehittämään sitä kautta parempia ratkaisuja ongelmiin (kuvio 17). (Hunt De Leon 2013, 2.)



Kuvio 17. Monimutkaiset liitokset on helpompi havainnollistaa kolmiulotteisena (Tekla 2016).

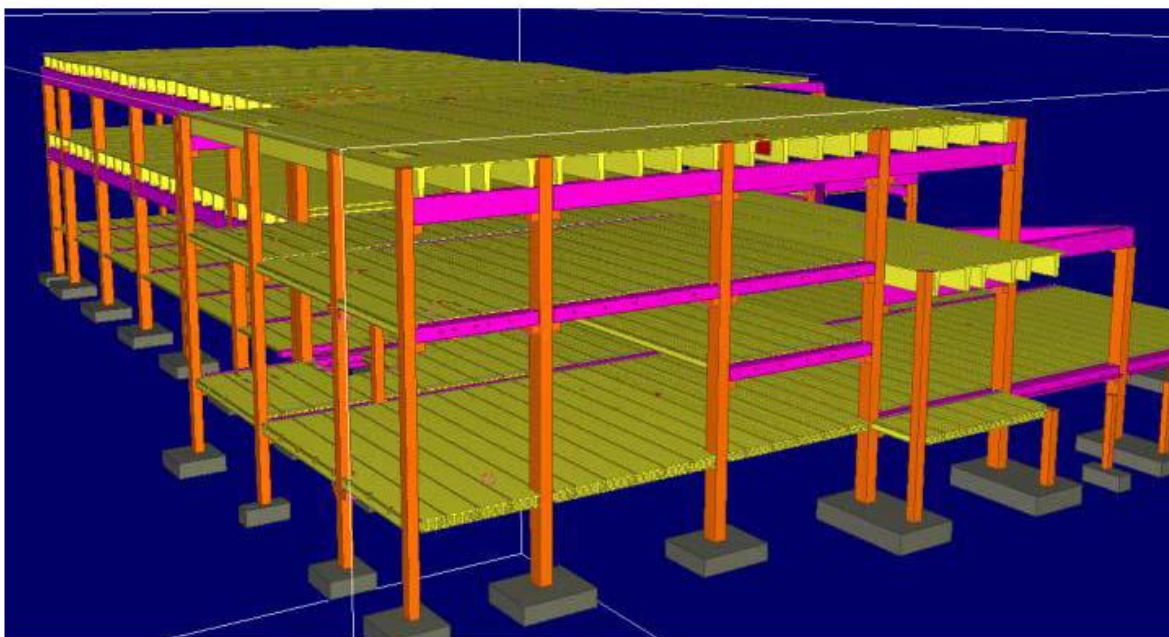
Suunnittelutyön laatu ja työaika-suhde paranee mallintavan 3D-suunnittelutyön avulla. Saadaan uusia tietoja ja tulostuksia. Suunnittelutyön tuloksena saadaan piirustuksia, raportteja, tarvikeluetteloita, detaljikuvia ja valmistustietoja (kuvio 18 ja kuvio 19). (Romo & Varis 2004, 9.)



Kuvio 18. Teräsbetonipilarin valmistuspiirustus, joka saadaan sisällytettyä 3D-malliin (Romo & Varis 2004, 9).

Lujabetoni		22.3.2004		TYÖ/ELLUETTELO N:o		Työmaa		Leppävaara 2	
VANHAT BETONTUOTTAJA				MUUTOS		/Tilaaaja			
				ELEMENTTITEHDAS		HLI		Piir. N:o	
						1= d 9,3		M1821	
						2= d 12,5			
Laat. n:o	Laatta tyyppi	Punk. lkm	Tunnus	Taso/krs/asennotalue	B	H	L	Alapunkket	A.jänn.
		tp	sp	n:o	kpl	mm	mm	d lkm/VSO	Mpa
1	M4	5	101 N2	N2	4	1200	320	7562 2 5 S5	1100
2	M4	7	102 N2	N2	1	1200	320	7760 2 7 S7	1100
3	M4	8	103 N2	N2	1	1200	320	7520 2 8 S8	1100
4	M4	8	104 N2	N2	1	1200	320	7520 2 8 S8	1100
5	M4	5	105 N2	N2	1	1200	320	7520 2 5 S5	1100
6	M4	5	106 N2	N2	1	1200	320	7520 2 5 S5	1100
7	M4	5	107 N2	N2	1	1200	320	7562 2 5 S5	1100
8	M4	8	108 N2	N2	1	1200	320	8110 2 8 S8	1100
9	M4	6	109 N2	N2	1	936	320	8068 2 6 S7	1100
10	M4	8	110 N2	N2	1	1200	320	7562 2 8 S8	1100
11	M4	5	111 N2	N2	1	1200	320	7515 2 5 S5	1100
12	M4	3	112 N2	N2	1	420	320	7760 2 3 S7	1100
13	M4	5	113 N2	N2	1	783	320	7335 2 5 S8	1100
14	M4	5	114 N2	N2	2	1200	320	2908 1 5 S5	1100
15	M4	5	115 N2	N2	1	853	320	7520 2 5 S8	1100
16	M4	8	116 N2	N2	1	1200	320	8110 2 8 S8	1100
17	M4	8	117 N2	N2	2	1200	320	8068 2 8 S8	1100
18	M4	7	118 N2	N2	4	1200	320	8030 2 7 S7	1100
19	M4	5	119 N2	N2	2	1200	320	1383 1 5 S5	1100
20	M4	5	120 N2	N2	4	1200	320	2032 1 5 S5	1100
21	M4	8	121 N2	N2	1	1200	320	8110 2 8 S8	1100
22	M4	7	122 N2	N2	1	1200	320	8068 2 7 S7	1100
23	M4	7	123 N2	N2	1	1200	320	8110 2 7 S7	1100
24	M4	5	124 N2	N2	3	770	320	7520 2 5 S8	1100
25	M4	4	125 N2	N2	1	1000	320	2908 1 4 S5	1100

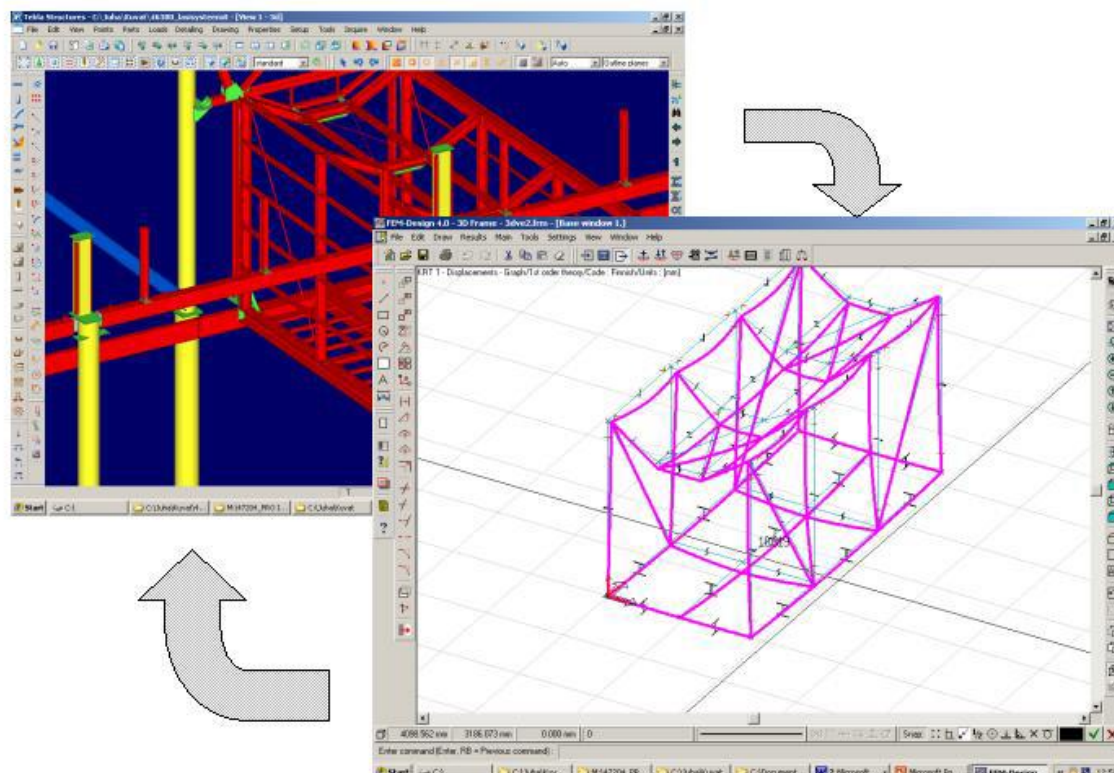
Kuvio 19. Rakennusosamallin tuoteosatiedosta tehty valmistajakohtainen ontelolaattaluettelo kuviosta 20 (Romo & Varis 2004, 9).



Kuvio 20. Alustava rakennemalli
(Romo & Varis 2004, 22).

Teräsrakennesuunnittelun kokemusten mukaan mallintava suunnittelu on poistanut suunnittelun mittavirheet. Mallintavan suunnittelun tarkastusvälineet, suunnitteluvälineet ja visuaalinen näkymä antavat suunnittelijalle useampia mahdollisuuksia havaita mahdollisesti syntyvät virheet. Tulostetut suunnitelmat ovat täsmälleen 3D-mallin mukaisia. Inhimillisten virheiden mahdollisuus on kuitenkin aina olemassa. Esimerkiksi rakenne on mallinnettu väärin lähtötiedoista tai valittu rakennemalli ei vastaa todellisuutta. (Romo & Varis 2004, 9.)

Statiikka- ja mitoitusosion integrointi tuotemallinnusohjelmistoon on erittäin tärkeä ominaisuus ajatellen rakennesuunnittelun kokonaisuuden hallintaa. Useissa kolmiulotteisissa mallinnusohjelmissa on integroituna mahdollisuus käyttää jotain rakenteiden mitoitusohjelmaa (kuvio 21) (Tekla 2016.)



Kuvio 21. Kolmiulotteisen mallinnusohjelman ja mitoitusohjelman vuorovaikutus (Romo & Varis 2004, 38).

Nykyään tärkeässä roolissa on energiatehokkuus ja muut analyysit joiden havainnointi tietomallista on erilaisilla analyysiohjelmilla helppoa. Tulevasta rakennuksesta halutaan lämmöneristävyys-, rakenteiden kantavuus-, valaistus- ja ilmanvaihtoanalyysijä, jotka esittävät mahdollisimman todellisen kuvauksen rakennuksen energiatehokkuudesta ja muista teknisistä ominaisuuksista. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja. 2006, 27.)

4.3 Määrälaskenta

Tämänhetkinen dokumenttiperusteinen määrälaskenta on hyvin työlästä. Monesti dokumenteista on mitattava manuaalisesti tietoja, jotta ne saadaan määrälaskennassa käyttöön. Määrälaskenta perustuu dokumenttien kahlaamiseen nimikkeistöjärjestelmän pohjalta. Tällaisia nimikkeistöjärjestelmiä ovat esimerkiksi Talo 80, Talo 90 ja Talo 2000. Nimikkeistöjärjestelmän käyttö perustuu

määrälaskennan yksiselitteisyyteen ja yhteisien pelisääntöjen luomiseen ja sillä myös varmistetaan, että asioita ei lasketa moneen kertaan. Määrälaskennasta saatavilla tiedoilla voidaan arvioida hankkeen kustannuksia.

Kolmiulotteisten tietomallien hyödyntäminen määrä- ja kustannuslaskennassa helpottaa eri suunnitteluvaihtoehtojen kustannusvaikutusten vertailua tarkasti jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Tällainen toimintatapa on tehokas suunnittelun ohjauksen keino, koska kustannusvaikutukset perustuvat mahdollisimman tarkkoihin määrätietoihin. (Teittinen 2012, 8.)

Toinen suuri etu on määrälaskennan läpinäkyvyys, koska jokaisella linkitetyllä määrällä on olemassa jokin virtuaalinen rakennusosa, josta määrätieto on poimittu. Tarvittaessa määrän lähde voidaan tarkistaa ja arvioida sen oikeellisuutta. Erityisesti suurissa kohteissa määrälaskijaa helpottaa suunnitteluaineiston havainnollisuus, koska hän saa käyttöönsä 3D-mallin, jonka avulla hän pystyy helposti tutustumaan laskettavaan kohteeseen ja löytämään esimerkiksi mahdollisia riskivaroja tarvitsevia rakennusosia. (Teittinen 2012, 8.)

Mallista on mahdollista tuottaa dokumentteja joko automaattisesti tai puoliautomaattisesti. Mallin ansiosta varmistuu se, että tuotettujen dokumenttien välillä ei ole ristiriitoja. Esimerkiksi tasopiirustusten ja leikkausten välillä ei voi olla ristiriitoja ja määrälistat vastaavat tarkasti niitä määriä, joita mallissa on. Eri suunnittelualojen mallien yhteensopivuus pitää varmistaa yhdistämällä kaikki osamallit yhdistelmämalliksi. Tietomallin osille on myös mahdollista liittää tietoa muun muassa aikataulusta, hinnoista ja hankinnoista. Näiden tietojen avulla esivalmistus-, valmistus- ja rakentamisprosessit pystyvät hyödyntämään mallin tietoja prosessin hallinnassa. (RIL 2013.)

Sen lisäksi, että tietokonemallista rakentajat voivat varmistaa rakenteiden mitoituksia ja määriä, kalusteiden ja talotekniikkakomponenttien sijoituksia tai suunniteltuja materiaalivalintoja, malli palvelee myös vaikkapa yksittäisten kalusteiden tuotetietopankkina. (Pilari 2010, 5.)

Yksi ja sama tiedosto kertoo rakennuksen käyttäjille ja rakentajille havainnollisin kuvin tilojen toimivuudesta, mutta samalla mallista voi rajata yksittäisiä kohteita, ottaa mittatietoa sekä tarkastella yksityiskohtia rakentamisen laadun varmistamiseksi. 3D-mallia voi tarkastella eri suunnista ja leikkauskuvia rakennuksesta voi ottaa aivan mistä kohtaa tahansa. (Pilari 2010, 5.)

4.4 Työnjohto

Rakennustyömaalla kolmiulotteista mallia voidaan käyttää aikataulutuksissa eli niin sanottuna 4D-mallina (Zhang 2011, 20). Kolmiulotteista mallia voidaan käyttää myös töiden suunnittelussa. Mallin avulla voidaan helposti havainnollistaa työntekijöille vaativia rakenteita ja yksityiskohtia, mikä vähentää työmaalla tapahtuvia rakennusvirheitä.

4D-malleja voidaan käyttää aktiivisesti apuna suunniteltaessa työmaanaikataulutuksia. Malleihin voidaan esimerkiksi merkitä eri väreillä minä viikkona kyseinen työvaihe toteutetaan. Tällöin mallista voidaan vertailla helposti tilannetta todellisuuden kanssa. Myös rakentamisjärjestyksen on yksinkertainen toteuttaa malliin vaikkapa animaationa. (Hunt De Leon 2013, 20.) Tätä mallia voidaan esitellä, niin työntekijöille kuin asiakkaille ja viranomaisille.

Useilla mallinnusohjelmilla voidaan tuottaa logistiikkaa palvelevaa tuoteosiin liittyvää aikataulutietoa. Tulosteena voi olla esimerkiksi havainnollinen animaatio toteutuneesta/suunnitellusta asennusaikataulusta tai vastaavasti suunnittelusta. Menettelyllä pystytään entistä helpommin havaitsemaan ja torjumaan aikataulukarikat ennalta ja selvittämään, mitä jonkin yksittäisen osan asennuksen viivästyminen vaikuttaa. (Romo & Varis 2004, 45.)

Valmis kolmiulotteinen malli palvelee rakennustyömaalla rakentamisen työvälineenä. Jos työmaalla huomataan parannusehdotuksia, suunnittelijatiimi pystyy hyvin nopeasti, jopa saman päivän aikana ratkaisemaan esiintyneen ongelman ja kirjaamaan muutoksen 3D-malliin. Päivitetty suunnitelma siirtyy lankoja

pitkin työmaalle ja muutos saadaan välittömästi käytännön toteutukseen. (Pilari 2010, 3.)

Rakennuttajapalavereissa voi tuoda esille seikkoja, joihin urakoitsijan ja rakentajien on hyvä jo etukäteen kiinnittää huomioita. Tämä ei välttämättä ole mahdollista mallissa, joka on kuvattu päältäpäin. Kun asiat tuodaan esille riittävän varhaisessa vaiheessa, pääsevät rakentajat tehtävissään etenemään kohtuullisen kivuttomasti. Tämä helpottaa myös valvojan työtä. (Pilari 2010, 6.)

Massiivisessa kohteessa perinteisen toimintamallin mukaisessa rakentamisessa paperia kuluu kohtuullisesti ja niiden pyörittelyyn sekä tulkitsemiseen palaa aikaa – varsinkin kun tietää, että jokainen ylimääräinen muutos- ja lisätyö on vaatinut omat uudet kuvansa. (Pilari 2010, 10.)

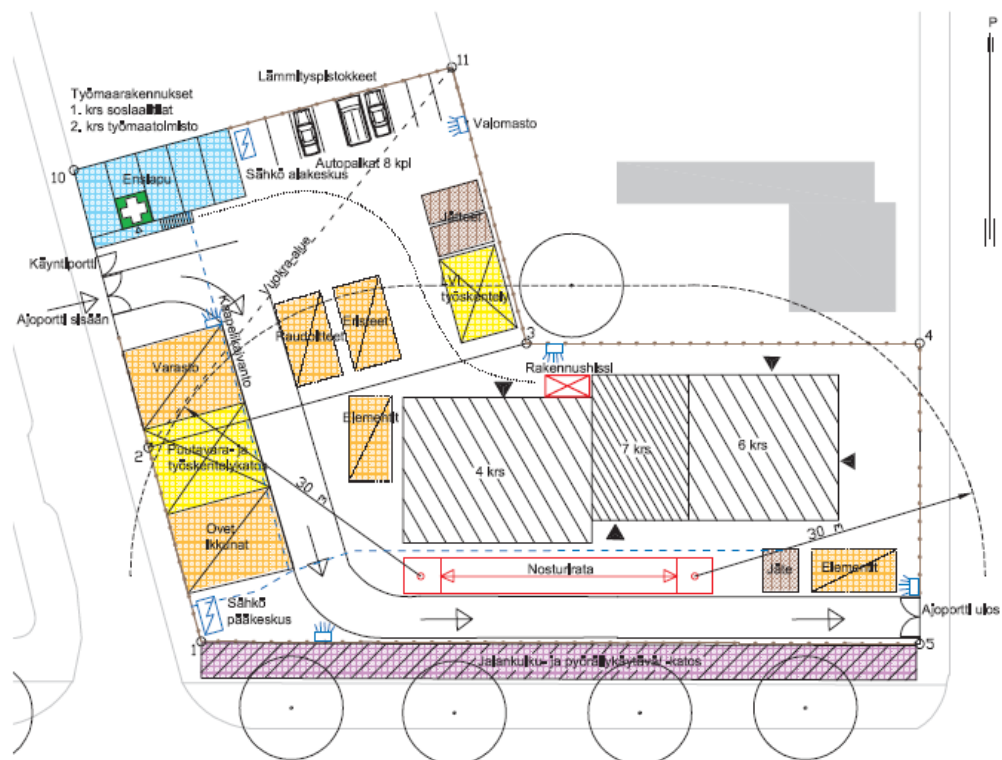
3D-mallissa kaikki rakennuskohteen suunnitelmat ja rakentamiseen tarvittava tieto on koottu yhteen ainoaan ArchiCAD-ohjelmistolla tai muulla mallinnusohjelmalla tehtyyn kolmiulotteiseen virtuaaliseen tiedostoon. 3D-malli toimii aitona rakentamisen työvälineenä. Ruudulta mallia voidaan tarkastella halutusta kuvakulmasta. Leikkauskuvat ja tarvittava tieto saadaan käden käänteessä. Rakentajat tarkistavat tiedostosta mm. mitta- ja määrätietoja sekä lukevat yksityiskohtien ja rakenteiden suunnitteluohjeita. (Pilari 2010, 10.)

4.5 Aluesuunnitelma

Työmaan aluesuunnitelman laadinta on tärkeä tehtävä rakennusprojektissa, koska toimiva työmaasuunnitelma vahvistaa rakennustyön tehokkuutta ja suorituskykyä. Työmaapalveluiden ja -tilojen järjestämistä hankaloittavat monet rajoitteet, kuten rajallinen tila, olemassa olevat rakennukset, sijainti ja kulkuväylät. Rakentamisen monimutkainen ja dynaaminen luonne vielä lisää työmaan aluesuunnitelman laadinnan vaikeutta. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 21.). Kolmiulotteisena tehtävä aluesuunnitelma (kuvio 22) on huomattavasti selkeämpi kuin kaksiulotteinen (kuvio 23).



Kuvio 22. ArchiCAD-sovelluksella mallinnettu 3D-malli työmaasuunnitelmasta. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 41).

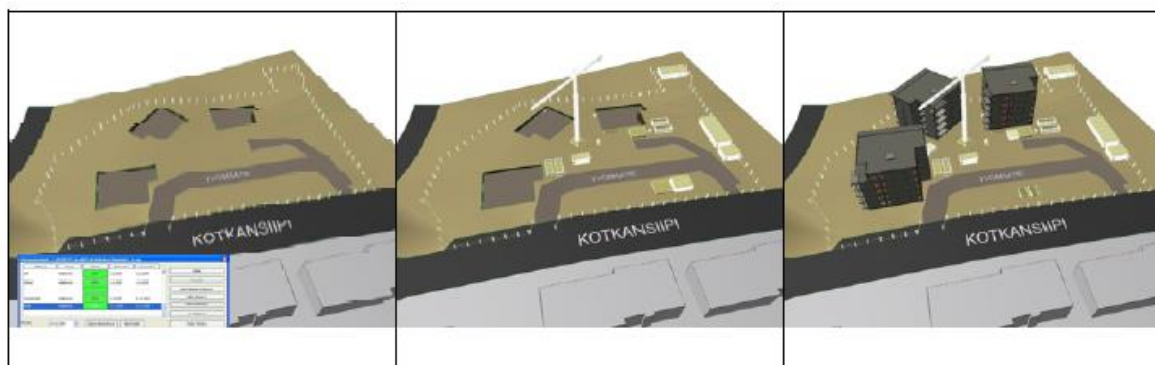


Kuvio 23. Perinteinen kaksiulotteinen runkovaiheen aluesuunnitelma (Ratu C2-0299 2007, 2).

Työmaa-alueen käytön suunnittelusta löytyy selkeät määritelmät ja vaatimukset myös lainsäädännöstä (VNp 629/1994). Työmaan aluesuunnitelmalla osoitetaan kaikille osapuolille, miten työmaan toiminnot on suunniteltu tapahtuvaksi rakentamisen eri vaiheissa. Aluesuunnitelma on myös pohja työturvallisuussuunnittelulle.

Työmaan kolmiulotteisesta aluesuunnittelumallista voidaan tuottaa halutuista kohdista ja näkökulmista erilaisia havainnollisia näkymiä työmaasuunnitelmaan. Staattiset näkymät voivat olla yleisnäkymiä tai detaljeja kuvaavia näkymiä. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 21.) Kuten seuraavista kuvista voidaan havaita, 3D-kuvat antavat paljon havainnollisemman kuvan työmaa-alueesta kuin tasokuvat.

Kuviosta 24 voidaan havaita, että työmaasta tehtävistä animaatioista voidaan yksinkertaisesti havainnollistaa miten työmaa on järkevin järjestää. Animaatiosta nähdään mitkä alueet on varattava elementtinoille ja mihin kannattaa varastoida rakennusmateriaaleja (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 35).



Kuvio 24. Animaatiomallinnus työmaan rakentumisesta. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 35).

Kuvio 25 havainnollistaa torninosturin nostosäteen ja auttaa näin suunnittelemaan torninosturin sijoittamista työmaalla. Työmaalle voidaan tehdä 3D-turvallisuusanalyysi siitä, mitä tapahtuu, jos työmaalle valittu torninosturi kaatuu. Käytännössä mallintamalla voidaan selvittää, mihin nosturi voi kaatuessaan osua. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 47.)



Kuvio 25. Torninosturin säde
(Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 42).

Urakoitsijalta saadun palautteen mukaan aluesuunnitelman pitäisi olla niin havainnollinen, että henkilö, joka ei ole työmaalla koskaan käynyt, hahmottaisi siitä työmaatoiminnot heti ja selkeästi. Toisaalta, koska tietomallipohjainen aluesuunnitelma on visuaalisesti havainnollinen, sen oikeellisuus ja virheettömyys on tärkeämpää kuin perinteisellä tavalla tehdyssä aluesuunnitelmassa. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 46.)

Tietomallipohjaisesta aluesuunnitelmasta tuotettuja kuvia ja työmaakierrosanimaatiota voidaan käyttää perehdyttämiseen liittyvässä työmaan esittelyssä sekä työmaajärjestelyjen esittelyssä tilaajalle. Myös paloauton ajoväylä työmaan läpi voidaan havainnollistaa staattisessa 3D-näkymässä. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 47.)

4.6 Työturvallisuussuunnittelu

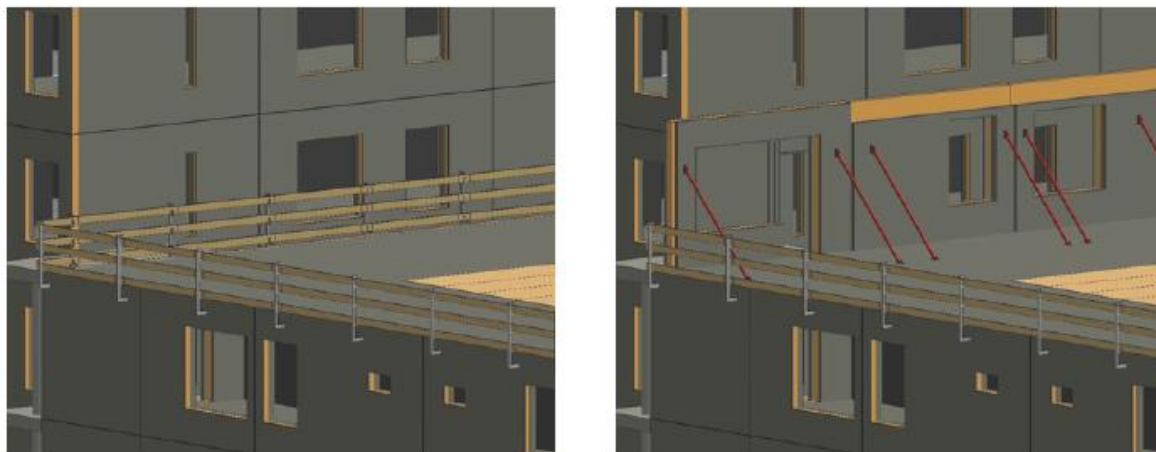
Rakennusala on edelleen kärkisijoilla työtapaturmatilastoissa. Tämä siitäkin huolimatta, että rakennusalalla on viime vuosina panostettu työturvallisuuteen

entistä enemmän. Työtapaturmat sattuessaan sotkevat työmaan toimintoja, aiheuttavat poissaoloja ja ennen kaikkea aiheuttavat rakennus alanyrityksille ylimääräisiä kuluja. (Työturvallisuuskeskus, 2014.)

Suurimpia haasteita työturvallisuuden parantamisessa on rakennusalan luonne. Luonteella tarkoitetaan montaa eri seikkaa, jotka vaikuttavat rakennustyömaan turvallisuuteen. Rakennusalalla on työturvallisuuden näkökulmasta haasteellista muun muassa siisteyden ylläpito, putoamissuojaus, asenteisiin vaikuttaminen, tiedonvälitys ja työmaan- ja töiden suunnittelu. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 49.)

Työmaalla turvallisuusasiat on oltava mukana kaikissa suunnitteluvaiheissa, yleissuunnittelusta työvaihesuunnitteluun erityisesti suunniteltaessa töiden ja työvaiheiden ajoitusta, kestoja ja niiden yhteensovittamista. Turvallisuussuunnittelu on yksi osa tuotannonsuunnittelua, jolla varmistetaan, että työt ja työvaiheet voidaan tehdä turvallisesti ja aiheuttamatta vaaraa työmaalla työskenteleville tai muille työn vaikutuspiirissä oleville. (Lappalainen, Sauni, Piispanen, Rantanen & Mäkelä 2009, 4.)

Perinteisellä tavalla toteutettu työturvallisuussuunnitelma perustuu tekstidokumenteihin ja karkeisiin 2D-mallinnuksiin. Työturvallisuussuunnitelmaa tehtäessä perinteisellä tavalla, putoamissuojaussuunnitelma jää usein karkeaksi yleissuunnitelmaksi. 3D-mallintamisella esimerkiksi elementtirakentamiseen voidaan tehdä animaatio, josta näkyy elementtien asennusjärjestys. Samaan animaatioon voidaan myös kytkeä työturvallisuuteen liittyviä seikkoja (kuvio 26). Näin syntyneestä mallista on helppo seurata, mitä työturvallisuuteen liittyviä seikkoja tarvitaan eri työvaiheissa. Työturvallisuuteen liittyvät seikat on myös helpompi viestittää eteenpäin selkeällä kolmiulotteisella mallilla. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 6.)



Kuvio 26. Mallinnus elementtiasennuksen putoamissuojauksen suunnittelussa (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 37).

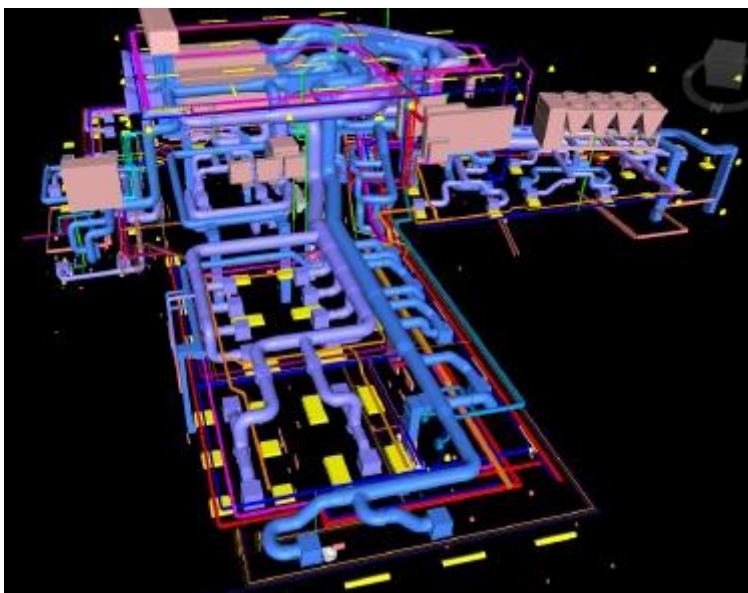
Kolmiulotteisella mallilla pystytään visualisoimaan nostoihin liittyviä vaara-alueita. Esimerkiksi nosturin ulottuvuusalueen 3D-visualisointi vastaa kysymykseen, mitä jäisi alle jos taakka pääsisi putoamaan, tai mihin nosturin puomin on mahdollista osua. Tämän kaltaisen tarkastelun merkitys kasvaa, jos työmaan ympärillä on niukasti tilaa ja mahdollisuus törmäyksiin. Lisäksi voidaan mallintaa, mitä alueelle valitun torninosturin alle mahdollisesti jäisi nosturin kaatuessa. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 41.)

4D-malli tukee riskien arviointia ja erityisvaarojen tunnistamista samalla kun rakentamisjärjestystä ja työvaiheisiin liittyviä turvallisuusjärjestelyjä suunnitellaan ja analysoidaan. Tässä yhteydessä voidaan tarkastella myös esim. töiden yhteensovittamista ja työskentelytilan riittävyttä turvalliseen työsuoritukseen. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 53.)

3D-mallin avulla voidaan suunnitella nosto- ja siirtoreitit sekä varastointipaikat työmaa-alueella ja rakennuksen sisällä. Samalla tarkistetaan esim. holvien kantavuus varastoinnista aiheutuvien pistekuormien varalta. Suunnittelussa on otettava huomioon materiaali-, kalusto- ja jätesiirotojen lisäksi henkilöliikenne. (Sulankivi, Mäkelä & Kiviniemi 2009, 55.)

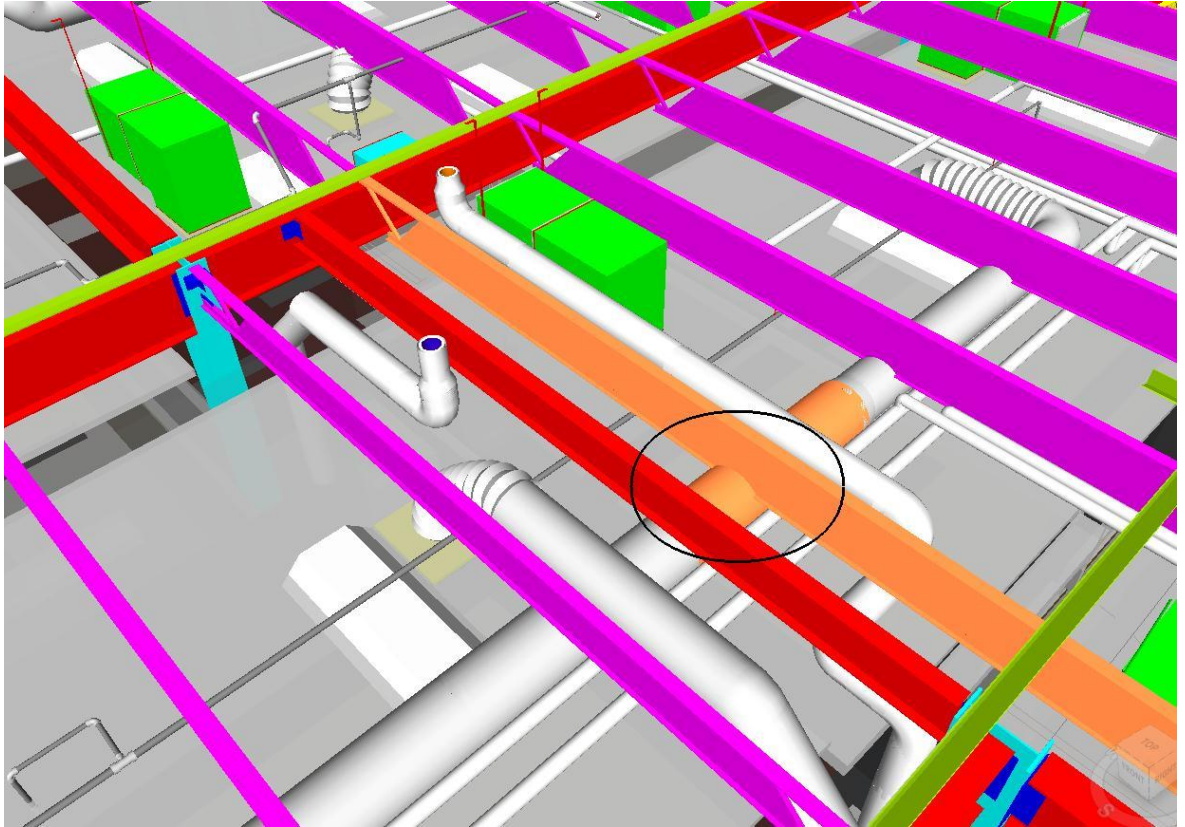
4.7 Talotekniikka

Monimutkaisissa rakennusprojekteissa kuten sairaaloissa saattaa risteillä alaslasketuissa katoissa kymmeniä talotekniikkaan liittyviä kanavia ja putkituksia (kuvio 27). Pahimmissa tilanteissa kanavat menevät päällekkäin tai risteilevät keskenään. Tällaisten tilanteiden suunnittelu 2D-mallinnuksella on hyvin haastavaa, koska syntyvästä kuvasta tulee hyvin monimutkainen. Perinteisellä tavalla mallinnetun kohteen tilanteita ratkotaan monesti työmaan edistyessä, kun suunnittelussa ei ole kaikkia osattu ottaa huomioon. Tällöin kuluu työaikaa hukkaan ja vaarana on syntyä rakennusvirheitä. (Jensen 2015.)



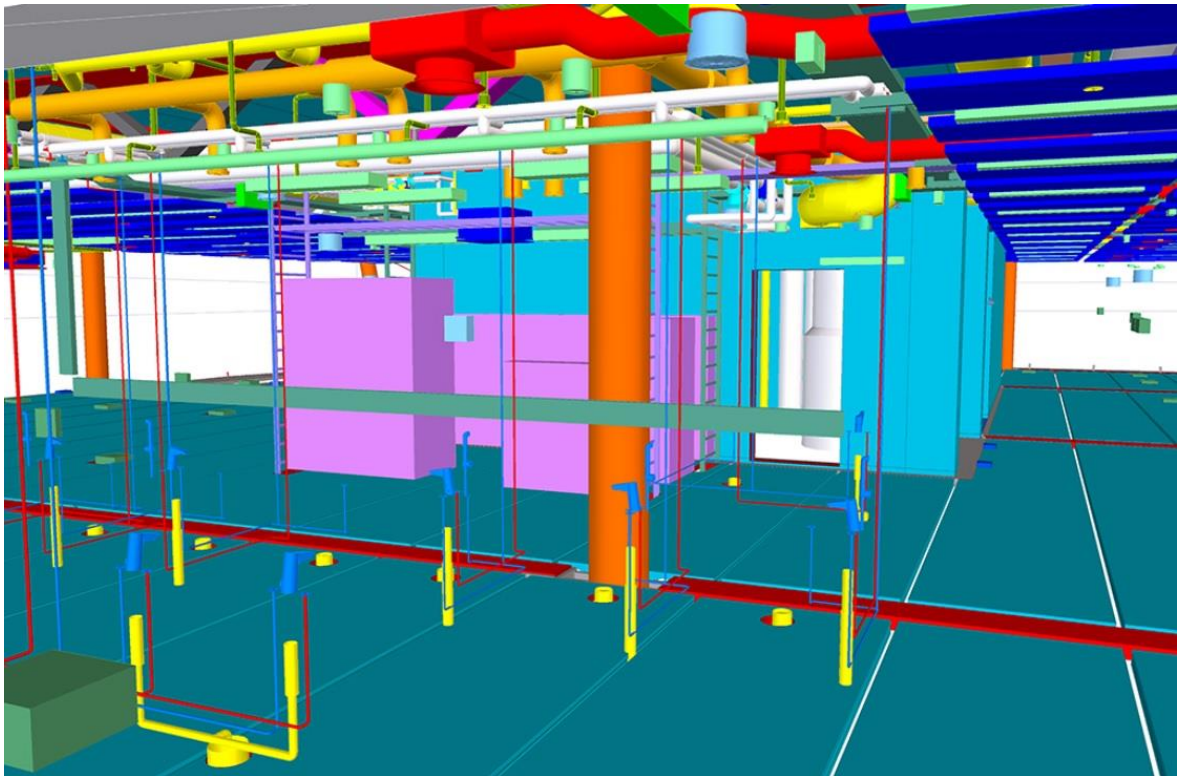
Kuvio 27. Talotekniikkaa 3D-mallissa
(Hunt 2015).

3D-mallinnusta käytettäessä taloteknisiä ratkaisuja ei yleensä enää tarvitse ratkoa työmaalla. Mallista kun nähdään suoraan, minne putkistot tai jokin laite tarkalleen tulee. Lisäksi rakennesuunnittelussa osataan ottaa huomioon tarvittavat tilavaraukset ja aukot läpivienneille. Kolmiulotteisella törmäystarkastelulla voidaan määrittää helposti, törmäävätkö jotkin rakenteen osat toisiinsa (kuvio 28). Tämä ominaisuus on esimerkiksi isokokoisten kanavistojen vienneissä tärkeää. (Jensen 2015.)



Kuvio 28. Törmäystarkastelu on kolmiulotteisena havainnollista (Nabholz 2012).

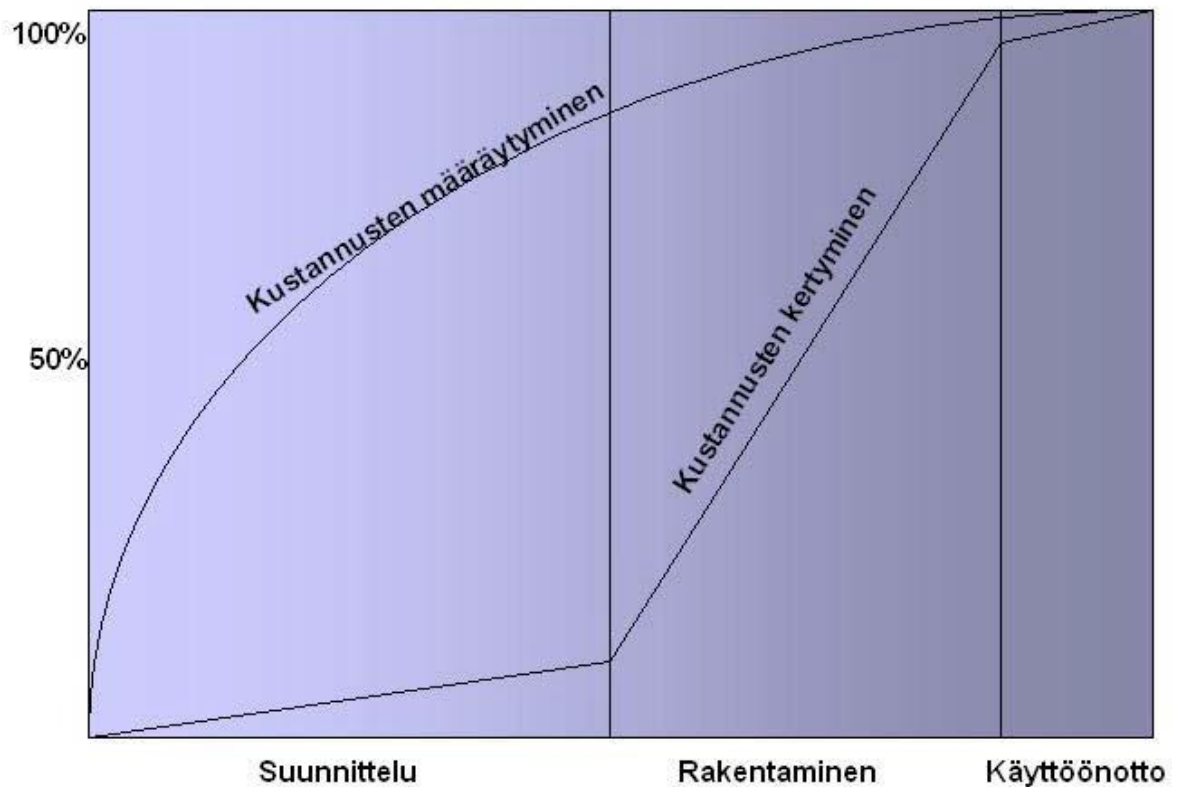
Suunnittelun edetessä tietomallit tarkentuvat ja havainnollistamisen sekä visualisoinnin mahdollisuudet kasvavat (kuvio 29). Tietomalleista voidaan ottaa määräluetteloita ja niitä yhdistelemällä tehdään törmäystarkasteluja. Juuri törmäystarkastelussa tietomallit ovat ylivoimaisia perinteiseen 2D-kuvista tarkasteluun verrattuna. (Hunt 2015.)



Kuvio 29. Kolmiulotteinen suunnitelma talotekniikasta.
(MagiCAD 2014).

4.8 Kustannussuunnittelu

Kuten kuviosta 30 voi tulkita, suurin osa rakennusprojektin kustannuksista muodostuu suunnitteluvaiheessa. Vastaavasti suunnittelun osuus koko rakennusprojektin kustannuksesta on pieni. Rakennuskustannuksiin voidaan siis vaikuttaa eniten suunnitteluvaiheessa, koska keskeiset rakennuksen laajuuteen, tilojen käyttötarkoitukseen ja laatutasoon liittyvät päätökset tehdään silloin. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja 2006, 20.)



Kuvio 30. Kustannusten muodostuminen rakennushankkeessa.
(Romo & Varis 2004, 5).

3D-tietomalleihin voidaan sisällyttää tarkkoja tietoja rakennusmateriaaleista. Näitä tietoja ovat esimerkiksi ominaisuudet ja hintatiedot. Kun käytetään tietomalleja saadaan hyvin tarkkoja tietoja tarvittavasti määräistä. Määrätietoihin pystytään liittämään työnsuorituksista aiheutuvat kustannukset. Näin pystytään yksinkertaisesti vertailemaan eri rakennusmenetelmien kustannuksia. (Heinisuo, Laasonen & Haapio 2010, 2.)

4.9 Ongelmat ja haasteet

Tietomallintamisen hyödyt saadaan käyttöön vasta hetken kuluttua. Alussa syntyy kustannuksia ohjelmistojen hankkimisesta ja suunnittelijoiden koulutuksesta. Moneen 3D-ohjelmaan joudutaan myös tekemään omia objektikirjastoja, joiden kustannukset muodostuvat suunnittelijoiden työtunneista. Kuitenkin 3D-ohjelmistojen käytön vakiintuessa aletaan saamaan kolmiulotteisista malleista hyötyjä. (Talebi 2014, 13.)

Kolmiulotteiset mallit on oltava täydellisiä, että niistä saadaan tarvittava tieto ulos yksinkertaisesti. Ongelmia on muun muassa ollut siinä, että mallissa rakenteita ei esimerkiksi piirretä oikeilla objektityökaluilla ja rakenteiden ryhmittely ei ole tarpeeksi selvää. Onnistuneen mallinnuksen edellytyksenä on, että ennen hankkeen alkamista sovitaan tiedonhallinnan pelisäännöt ja yksityiskohdat. Kattavat ohjeet koko suunnitteluryhmälle ovat tärkeitä. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja 2006, 12.)

Mallintajien eli suunnittelijoiden koulutus, tietotekniikan osaaminen, pätevyys ja kokemus ovat perusedellytyksiä; oleellinen asia tässä on ymmärtää oma roolinsa koko prosessissa eli vaatimukset omalle suoritukselle muiden kannalta ja toisaalta mallintavan suunnittelun luomat mahdollisuudet koko hankkeen kannalta. Edellytys kolmiulotteisen suunnittelun laajentamiselle on tarjonnan (suunnittelijat, ohjelmistot) ja kysynnän (tilaajat) tasapainoinen kasvu. (Romo & Varis 2004.)

Tietomallinnuksesta ja 3D-mallinnuksesta on olemassa omat ohjekortit RT-kortistossa. Kortistossa olevat ohjeet eivät kuitenkaan vastaa kaikkia vaatimuksia, vaan monet yritykset joutuvat itse täydentämään ja tekemään suunnittelijoille ohjeistuksensa. Yritysten IT-osaaminen onkin tällä hetkellä eräs keskeisimmistä hidasteista siirtyä kolmiulotteiseen tietomallinnukseen. Normaalit arkiset työtehtävät on hoidettava yrityksissä ja saman aikaisesti olisi omaksuttava uusia työ- ja toimintatapoja. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja 2006, 17.)

Tietomalliin pohjautuvassa suunnittelussa muuttuu myös suunnittelijoiden työnjako. Vastaavalla rakennesuunnittelijalle ja arkkitehdille siirtyy enemmän ennen muille

kuuluneita työtehtäviä. Nykyinen ohjelmistokehitys tukee kehitystä, jossa kaikki suunnittelutyö tehdään samalla ohjelmalla yhdessä paikassa. (Penttilä, Nissinen & Niemenoja 2006, 21). Tässä muutoksessa myös vastuukysymykset muuttuvat. Vastuu suunnittelun oikeellisuudesta siirtyy myös yhteen paikkaan. Vastuun ottaminen koko projektin suunnittelusta voi olla riskialtista (Azhar 2008, 435).

5 YLEISET TIETOMALLIVAATIMUKSET

Rakennustieto on julkaissut vuonna 2012 verkkopalveluissaan ohjeet Suomen ensimmäisiksi kansallisiksi tietomallivaatimuksiksi. Koko rakennusala koskeviin tietomallivaatimukseen on lisätty myös projektin hallinta sekä energia-analyysit. Vaatimusten tavoitteena on yhdenmukaistaa ja vakinaistaa rakentamisen toimintatapoja. (RT 10-11080 2012, 1.)

Kiinteistöjen ja rakennusten tietomallinnuksen tavoite on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävä kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukeminen. Tietomalleja hyödynnetään koko rakennuksen elinkaaren ajan lähtien suunnittelun alusta ja jatkuen vielä rakennusprojektin jälkeenkin käytön ja ylläpidon aikana. (RT 10-11080 2012, 2.)

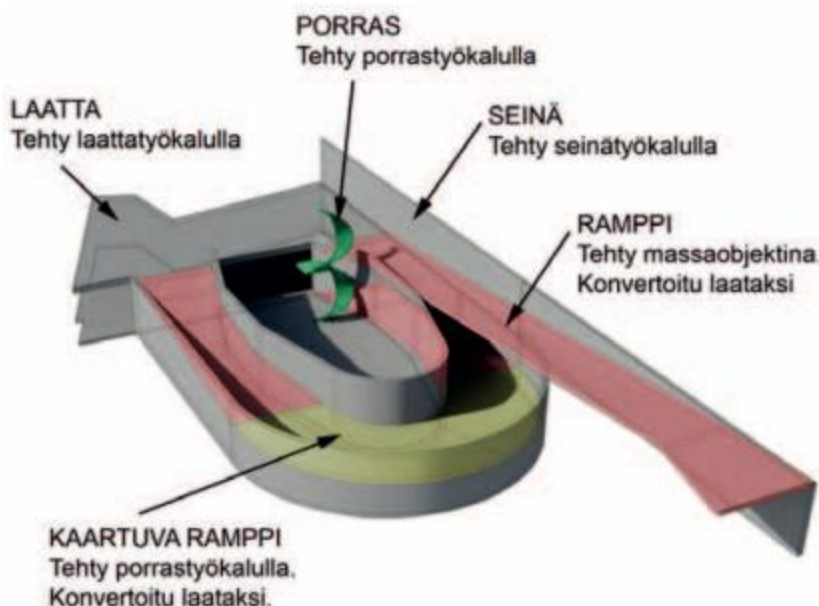
Mallinnuksen onnistumiseksi on malleille ja mallien hyödyntämiselle asetettava hankekohtaiset painopistealueet ja tavoitteet. Tavoitteiden ja rakennustiedon yleisvaatimusten pohjalta määritetään ja dokumentoidaan projektikohtaiset vaatimukset. (RT 10-11080 2012, 2.)

Tarjouspyynnössä määritellään mallien käytön laajuus, eri osapuolille kuuluvat tehtävät ja käytettävät tarkistusmenetelmät kyseisessä projektissa. Osapuolien on yhdessä sovittava ohjelmistojen ja niiden versioiden vaihtaminen projektin aikana. Uusien versioiden käyttöönotto-vaiheessa on suoritettava tiedonsiirron testaus aina ennen lopullista käyttöönottopäätöstä. (RT 10-11066 2012, 1.)

Eri suunnittelualojen mallien yhteensopivuus tulee varmistaa yhdistämällä kaikki osamallit yhdistelmämalliksi. Koska tietomallia voi tuottaa eri suunnitteluohjelmilla, tarvitaan eri ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon yhteinen siirtomuoto objektien älykkääseen tiedonsiirtoon. Talonrakennuksessa tähän on kehitetty IFC -formaatti, joka sisältää tiedon rakennusosien muodoista ja ominaisuuksista. (RIL 2013.)

Mallinnuksessa on käytettävä ohjelmistojen mallikomponentteja ja työkaluja niiden varsinaiseen käyttö tarkoitukseen, siis seinät on mallinnettava seinätyökaluilla, laatat laattatyö kalulla jne. (kuvio 31). Rakennusosat ja komponentit, joille ei ole omaa työkalua, mallinnetaan soveltaen, jolloin käytetty mallinnustapa tulee

dokumentoida tietomalliselostukseen. Tietomalliselostus on kunkin suunnittelualan ylläpitämä kuvaus mallin sisällöstä, käytetyistä mallinnustavoista ja mahdollisista poikkeamista yleisiin vaatimuksiin tai mallinnustapoihin nähden. (RT 10-11066 2012, 4.)



Kuvio 31 Esimerkki eri objektien mallintamisesta ja objektityökalun soveltamisesta (RT 10-11066 2012).

Hankkeessa tulee nimetä tietomallikoordinaattori, joka voi olla joko pääsuunnittelija tai joku muu pääsuunnittelijan tai hankejohtoon valitsema taho. Suunnittelun aikaisten työmallien laadunvarmistuksesta vastaavat suunnittelijat ja sitä valvoo tietomallikoordinaattori. Työmallit ovat aina enemmän tai vähemmän kesken, joten erilaiset törmäykset ja virheet kuuluvat kuvaan. Suunnittelijoiden on kuitenkin valvottava oman mallinsa teknistä laatua ja varmistettava, etteivät ne sisällä muita kuin normaaliin suunnittelun keskeneräisyyteen liittyviä virheitä. (RT 10-11066 2012, 5.)

6 CASE: KERROSTALON MALLINNUS ARCHICAD-SOVELLUKSELLE

Tämän casen tarkoitus oli testata 3D-mallinnusta ja tarkastella ArchiCAD-mallinnusohjelman tietomallinnusominaisuuksia. Kyseisen tietomallin avulla on tarkoitus hakea kaavamuutosta Ylistaron keskustan asemakaavaan.



Kuvio 32. Julkisivu luoteeseen ja lounaaseen



Mallin luonti ArchiCAD:lla sujui mutkattomasti (kuvio 32 ja 33). Omien tekstuurienkin luominen malliin oli yksinkertaista. Huomioimisen arvoista

mallintamisessa oli muistaa mallintaa oikeat objektit oikealla työkalulla. Esimerkiksi pilarit tulee mallintaa pilarityökalulla ja laatat laattatyökalulla jne. Muuten mallin käyttäminen tietomallina antaa virheellisiä tuloksia esimerkiksi määrälaskennassa ja kustannussuunnittelussa. Tarvittaessa



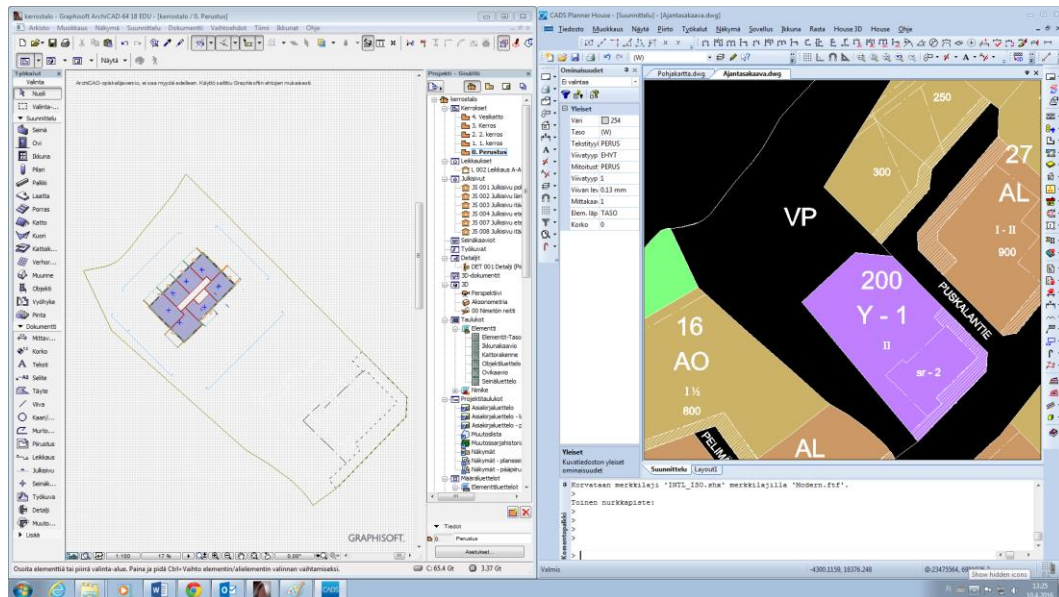
Kuvio 33. Julkisivu koilliseen ja kaakkoon

tulee soveltaa objektityökaluja, jos kyseiselle rakenteelle ei ole mallinnusohjelmassa omaa objektia. Tällainen soveltaminen tulee kuitenkin kirjata ylös tietomalliselosteeseen.

Mallia käsitellessä huomasin, että 3D-mallinnuksen vaatimukset tietokoneen suorituskyyvylle ovat kovat. Mitä enemmän malliin tulee yksityiskohtia, sitä enemmän se vaatii tietokoneelta suorituskyykyä. Mallin renderointi vaatii myös koneelta suorituskyykyä. Esimerkiksi kuvioden 32 ja 33 renderointi kesti noin puolituntia kuviota kohden.

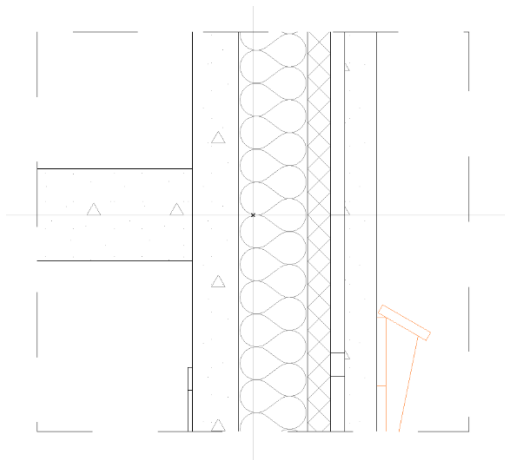
Kyseisen rakennuksen ulkonäkövaatimukset ovat korkeat johtuen samalla tontilla sijaitsevasta suojelukohderakennuksesta. Julkisivun tulee jäljitellä suojelukohteen julkisivua. Tällaisissa kohteissa 3D-mallinnus on oikeastaan ainoa vaihtoehto, millä rakennuksen julkisivu saadaan kunnolla havainnollistettua. Tässä tapauksessa otettiin valokuvia suojelurakennuksesta. Näistä valokuvista pystytään tuottamaan kuvankäsittelyohjelmalla omia tekstuureja, jotka pystytään siirtämään ArchiCAD-ohjelmaan.

ArchiCADiin ja muiden CAD-pohjaisten ohjelmien välillä on mahdollista tehdä DWG-tiedonsiirtoa. Esimerkiksi tässä projektissa on siirretty DWG-ajantasakaavasta tontin rajat ArchiCADiin (kuvio 34).



Kuvio 34. DWG-tiedonsiirto eri CAD-ohjelmien välillä

Rakennuksen 3D-mallista saadaan tuotettua perinteisiä kaksiulotteisia rakennekuvia. Tarkat rakennekuvat ovat muokattavissa ilman, että muutos tapahtuu koko malliin (kuvio 34). Näin detajli-kuvat kulkevat niin sanotusti mallin sisällä ja ovat sieltä tarvittaessa tulostettavissa ulos.



Kuvio 35. Tarkkojen detajli kuvien muokkaus onnistuu ArchiCAD-ohjelman sisällä.

6.1 ArchiCAD-ohjelman tietomallinnusominaisuudet

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti muutamia ArchiCAD-ohjelman tietomallinnusominaisuuksia.

Archicad-ohjelmalla saadaan luotua julkisivu-, pohja- ja leikkauspiirustukset samalla, kun mallia mallinnetaan (kuvio 36). Valmiista 3D-mallista saadaan siis kaikki tarvittavat piirustukset ja määräluettelot, kuten ikkunakaaviot (kuvio 37). Ikkunakaaviot voidaan täten lähettää suoraan ikkunatehtaalle tarjouspyynnön liitteenä. Mallista saadaan myös yksityiskohtaisia rakennepiirustuksia. mallista tuotettuja projektioita on käytännössä aina ”ehostettava”, eli niihin on lisättävä esimerkiksi piirustusmerkintöjä, mittoja, materiaalimerkintöjä ja tekstejä, jotta ne täyttäisivät esimerkiksi rakennusvalvonnan tai työmaan toteutuspiirustusten vaatimukset. (ArchiCAD 2009, 9.)



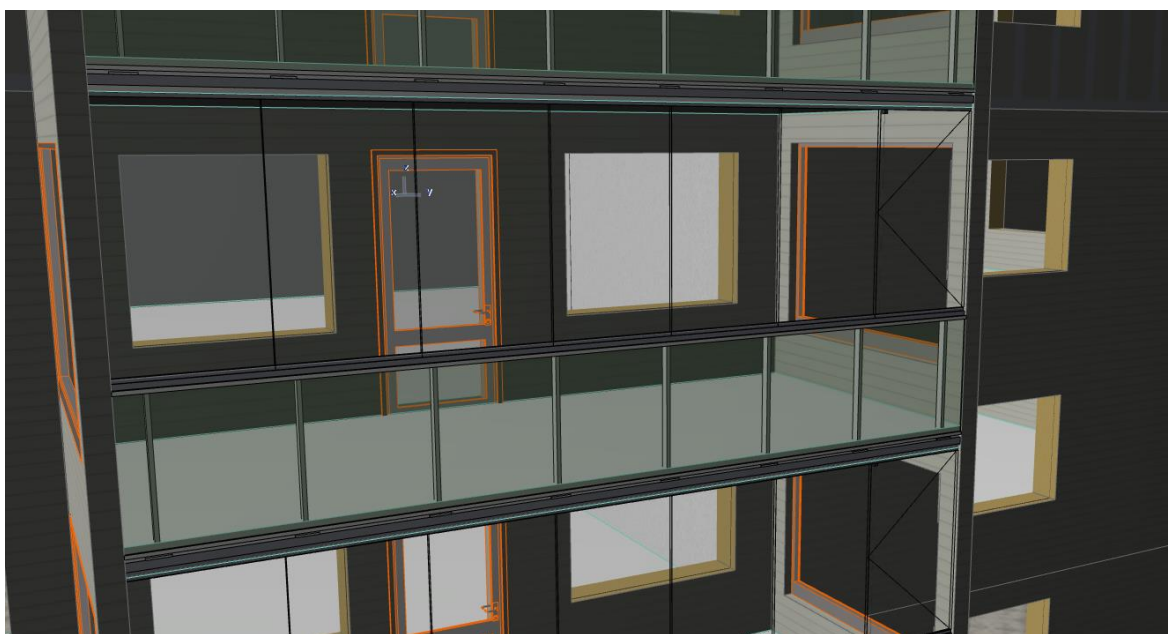
Kuvio 36. Valmiista 3D-mallista saadaan useita 2D-kuvia (MAD 2016).

Ikkuna PK12 	Leveys:	1,60 m	4 piece(s)
	Korkeus:	1,40 m	
	ID	Ikkuna 031	
	Kätisyys	0	
	Pinnan nimi	Maali - titaanivalkoinen	
Ikkuna PK12 	Leveys:	1,60 m	4 piece(s)
	Korkeus:	1,40 m	
	ID	Ikkuna 050	
	Kätisyys	0	
	Pinnan nimi	Maali - titaanivalkoinen	
Ikkuna PK12 	Leveys:	1,60 m	16 piece(s)
	Korkeus:	1,40 m	
	ID	Ikkuna 052	
	Kätisyys	0	
	Pinnan nimi	Maali - titaanivalkoinen	

Kuvio 37. Mallista saadaan tuotettua ikkunaluetteloita

Muutostenhallinta Archicad:lla on helppoa. Sitä mukaan kun rakenteita muutetaan, sen muutoksen aiheuttamat vaikutukset muihin mallin osiin päivittyy automaattisesti. Tämän ominaisuuden ansiosta malli on aina ajan tasalla.

Ohjelmistoon voidaan lisätä myös ulkopuolisia objektkirjastoja. Esimerkiksi Lumon Tarjoaa ladattavan suunnittelutyökalukirjaston, joka pitää sisällään tekniset aineistot, tuotteiden DWG-aineiston ja referenssit (kuvio 38). Kirjasto on helppo ja nopea asentaa omalle koneelle, jonka jälkeen kaikki suunnittelumateriaali on vaivattomasti käytettävissä. (Lumon 2016.) Tuotteiden 3D-objektien siirtäminen ArchiCAD-ohjelmistoon on helppoa. Tämä luo suunnitteluun lisä-arvoa.



Kuvio 38. Lumon-objekti ArchiCAD:ssa.

Määrä- ja kustannuslaskennan kannalta ohjelmisto tukee kerrosrakenteiden eri rakennekerrosten pinta-alojen laskentaa (kuvio 39). Näin esimerkiksi seinästä saadaan tiedot eristeiden tai sisäverhouslevyjen pinta-alasta. Tämä ominaisuus säästää aikaa. Seinät on kuitenkin mallinnettava oikein, tällöin ei määrälaskijan tarvitse laskea manuaalisesti eri materiaalien pinta-aloja. Myös ovien ja ikkunoiden koot voidaan määrittää, jolloin ne on myöhemmin saatavilla helposti listana. (ArchiCAD 2009, 10.) Kustannussuunnittelun kannalta mallia luodessa voidaan eri objekteihin lisätä myös hintatietoja (kuvio 40).

Taulukko / Kaikki pinnat

Pääotsikko..

Valittu: 1 Muokattavia: 1

Lukitse taulukon otsikko

Taulukkoasetukset...

Kaikki pinnat					
Nimi	Näkyvä pinta-ala [m2]	Värinäyte	Väri [R,G,B]	Pintakäsittely	Rasterointi
Betoni - 02	0,59		168,169,158	<input type="checkbox"/>	Tausta
Betoni - 04	11,87		168,169,158	---	Tausta
Betoni - 10	108,73		96,96,96	<input type="checkbox"/>	Tausta
Eriste - lasivilla	3,48		255,255,168	<input type="checkbox"/>	Tausta
Enste - puukuitu	17,37		199,196,163	<input type="checkbox"/>	Tausta
Kivi - graniitti harmaa	102,55		114,94,71	<input type="checkbox"/>	Tausta
Lasi - kirkas nopea	19,81		240,247,243	<input type="checkbox"/>	Tausta
Lasi - kirkas nopea	65,34		240,247,243	---	Tausta
Lasi - sininen	0,05		164,191,219	<input type="checkbox"/>	Tausta
Maali - hiekanbeige	279,37		199,196,163	<input type="checkbox"/>	Tausta
Maali - kultabeige	648,42		172,166,117	<input type="checkbox"/>	Tausta
Maali - kultaokra	203,13		204,150,68	<input type="checkbox"/>	Tausta
Maali - titaanivalkoinen	300,14		255,255,255	<input type="checkbox"/>	Tausta
Maali - titaaniharmainen	4,86		255,255,255	---	Tausta
Maali - tummanharmaa	0,22		91,91,91	<input type="checkbox"/>	Tausta
Maali - vaaleanharmaa	0,03		168,168,168	<input checked="" type="checkbox"/>	Tausta
Maali - vaaleanharmaa	525,25		168,168,168	<input type="checkbox"/>	Tausta
Metalli - alumiini	34,55		234,224,224	<input type="checkbox"/>	Tausta
Metalli - alumiini	16,91		234,224,224	<input checked="" type="checkbox"/>	Tausta
Metalli - kromi 01	29,17		191,191,191	---	Tausta
Metalli - sinkki	161,63		169,171,173	<input type="checkbox"/>	Tausta
Puu - mänty pystysuora	2,66		237,217,184	---	Tausta
Puu - mänty vaakasuora	68,44		237,217,184	<input type="checkbox"/>	Tausta
Puu - mänty vaakasuora	41,30		237,217,184	---	Tausta
Ruoho - vihreä	492,33		0,64,0	<input checked="" type="checkbox"/>	Tausta
Stukko - keltainen karkea	0,32		217,196,121	<input checked="" type="checkbox"/>	Tausta
Stukko - valkoinen hieno	164,35		243,245,239	<input type="checkbox"/>	Tausta

Kuvio 39. Kerrosrakenteiden eri rakennekerrosten pinta-aloja.

Seinän pinnasta

0,100

Vaihda puoli

Saranaoven asetukset

Omat asetukset...

Määrälaskenta

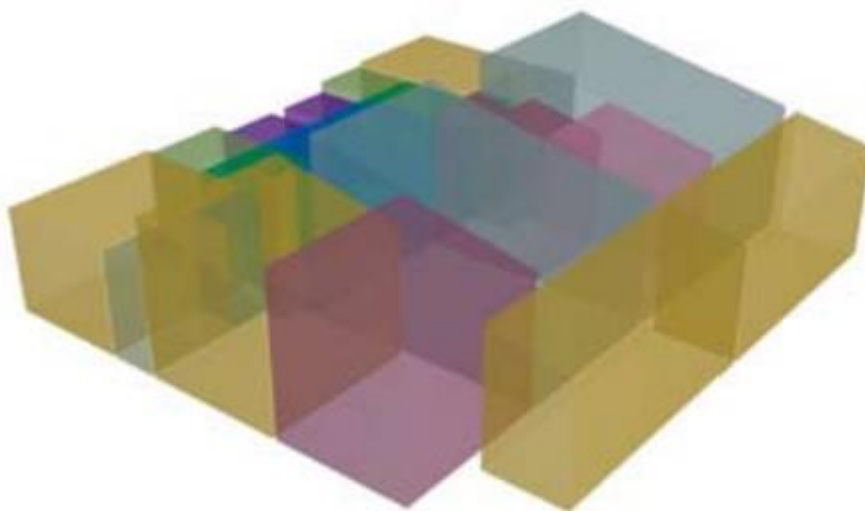
☒ Ovi kuuluu aukeamispuolen vyöhykkeeseen

Hinta	0,00	Lasitettu ala	1,81
Valmistaja		<input type="checkbox"/> Käytä lasitettua alaa	
Sijainti		Lasituksen kokonaispiiri	0,00
Lisävarusteet		U-arvo	
Lasitus		Paloluokitus	
Toimintatapa		Ääneneristysluokka	

Kuvio 40. Hintatietojen lisääminen objekteihin.

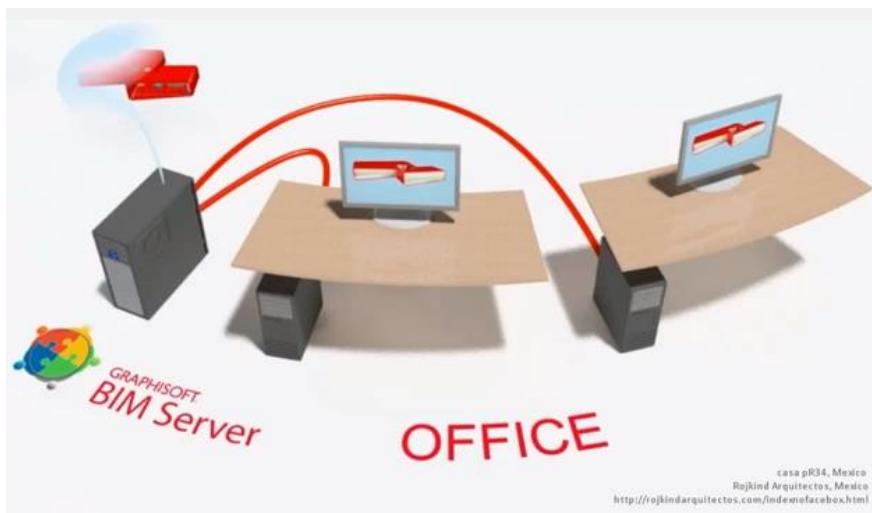
Tarveselvitysvaiheessa mallintamista hyödynnetään erilaisia visualisointeja (kuvio 41). Tässä vaiheessa luodaan tarpeen mukaan myös alustavia vaativuusmalleja tilojen koolle ja muille vaatimuksille. Vaativuusmallilla rakennuttaja tai rakennusliike (omaperusteisessa asuntotuotannossa) voivat tehdä entistä tarkempia ja luotettavampia päätöksiä hankkeen käynnistämiseksi (Mäki, Rajala, Penttilä, 2010, 7).

Archicadilla tiloja pystytään mallintamaan vyöhykkeillä. Tiloja voi ryhmitellä esimerkiksi käyttötarkoituksen tai muiden vaatimusten tai ominaisuuksien mukaisesti (ArchiCAD 2009, 4). Erityyppiset vyöhykkeet tulee sijoittaa kuvatasoille projektiohjeen mukaisesti, jotta niiden sisältämät pinta-alat saadaan määrälaskennassa eriteltyä oikein (ArchiCAD 2009, 4).



Kuvio 41. Archicadilla mallinnetun rakennuksen huonetilat. Väreillä on havainnollistettu eri tilaryhmiä (ArchiCAD 2009, 4).

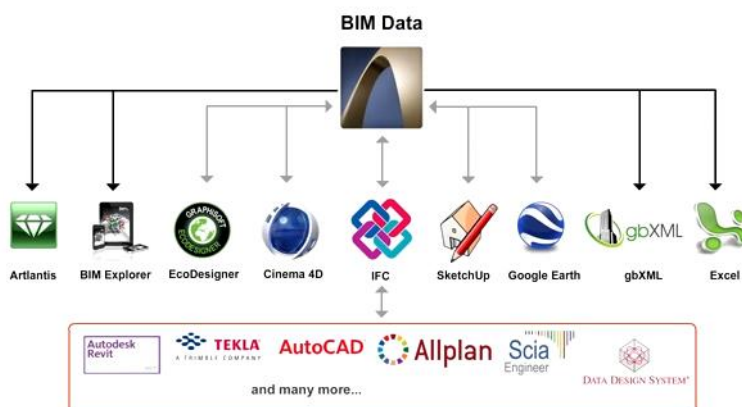
ArchiCADilla on mahdollista käyttää yhteistä tietomallia. Näin esimerkiksi isojen projektien eri suunnitteluosien mallintaminen voi tapahtua jopa eri puolilla maailmaa. Yhteisen BIM-serverin käyttö mahdollistaa saman mallin muokkaamisen. Näin malli on aina ajan tasalla. Mallia muokatessa vain malliin tehtävät muutokset siirtyvät serverille.



Kuvio 42. Yhteisen BIM-serverin käyttö
(ArchiCAD 2009, 6).

Isoissa projekteissa malliin rajataan lohkoja, joita vain osa suunnittelijoista pystyy muokkaamaan. Tässä tilanteessa korostuu muutosoikeuksien määrittelijän ammattitaito. Oikeuksia määrittelevällä taholla tulee olla siihen tarvittava IT-osaaminen ja kokonaisnäkemys koko rakennusprojektista. Taho ei voi olla sellainen, jolla on ainoastaan siihen tarvittava IT-osaaminen. (Niemi 2016.)

IFC-formaattia käyttämällä tietoa voidaan siirtää ArchiCADsta muihin IFC-formaattia tukeviin ohjelmistoihin. Näin on mahdollista jakaa tietomalliin sisältyvää informaatiota esimerkiksi ikkunatoimittajan kanssa. Ikkunatoimittaja voi esimerkiksi lisätä tietomalliin ikkunoiden hintatietoja. Vaatimuksena kuitenkin on, että ikkunatoimittajalla on käytössä IFC-formaattia tukeva ohjelmistopohja.



Kuvio 43. IFC-formaatin tiedonsiirto
(ArchiCAD 2009, 6).

7 YHTEENVETO

3D-suunnittelu on alkanut vasta viime aikoina yleistymään ja harva projekti on tehty kokonaan 3D-suunnittelulla. 3D-järjestelmät on tunnettu jo vuosia, mutta edelleenkin on monia urakoitsijoita, joilla ei ole valmiuksia tehdä suunnittelutyötä 3D-järjestelmän avulla.

Koko projektin elinkaaren mittaista tietomallinnusta ei silti käytännössä ole juurikaan mahdollista toteuttaa, koska IFC-tietoa vastaanottavat osapuolet puuttuvat edelleenkin lähes kokonaan, niin suunnittelijakuin toteuttajapuolellakin.

Nykyisin pääosa rakennussuunnitelmista tehdään edelleen kaksiulotteisella CAD-ohjelmistolla. Siitäkin huolimatta, että useat ohjelmat tarjoavat kolmiulotteisia vaihtoehtoja, niitä ei useinkaan suunnittelussa hyödynnetä. Tämä johtuu pääosin siitä, että kolmiulotteiset ohjelmat eivät ole yleisesti vakiintuneet suunnittelijoiden keskuudessa.

Kolmiulotteisen mallinnuksen hyödyt arkkitehtisuunnittelussa on tiedostettu jo varhaisessa vaiheessa. Rakennuksen kokonaisuutta on lähes mahdoton ymmärtää ilman kolmiulotteista mallia. Arkkitehdin on paljon helpompi tehdä yhteistyötä asiakkaan kanssa, kun arkkitehdillä on esittää kolmiulotteinen malli asiakkaalle. Monesti asiakkaana on maallikko, joka ei ymmärrä tasokuvien merkintöjä. Tällöin kolmiulotteinen malli on ainoa vaihtoehto hahmotella rakennus yhdessä asiakkaan kanssa.

Kun tehdään työmaasta animaatio, nähdään helposti mitä varauksia väliaikaisille varastoille työmaalla tarvitaan missäkin työvaiheessa. Tällöin vältetään ylimääräiseltä välivarastojen siirtelyltä. Monesti työmaalle saapuvat materiaalit puretaan väärään paikkaan. Tällöin materiaali joudutaan siirtämän pahimmassa tapauksissa useita kertoja. Isolla työmaalla tällaiset ylimääräiset siirtelyt voivat moninkertaistua ja niistä seuraa turhaa työtä.

Luomalla tietomalli rakennuskohteesta saadaan kaikki määrälaskennassa tarvittavat dokumentit yhden mallin sisälle. Tällä vähennetään aikaa, joka on ennen

kulunut etsimällä tarvittavia tietoja kaksiulotteisista malleista, kaavioista, selosteista tai muista dokumenteista.

Tietomalli pohjiaan määrälaskenta korvannee osaksi tulevaisuudessa perinteisen dokumenteista tapahtuvan määrälaskennan. Suunnittelijoiden tuottaman tuotetiedon perusteella saadaan varhaisessa suunnitteluvaiheessa tuoteosa- ja määrätietoa. Alustavan rakennusosamallin teko, josta saadaan määrät ja rakenteet on nopeaa. Haasteita kuitenkin on. Nykyiset 3D-mallinnusohjelmat eivät vastaa määrälaskennan osalta kaikkiin tarpeisiin. Tällöin joudutaan käyttämään kahta laskentametodia rinnakkain.

Rakennesuunnittelijan mallista saadaan käyttöön perinteisiä 2D-kuvia. Monet rakenteet on kuitenkin yksinkertaisempi havainnollistaa 3D-mallina. Tällöin suunnitteluun pystytään helpommin ottamaan mukaan myös asiakkaan näkökulma. Maallikko asiakkaan on lähes mahdoton ymmärtää 2D-kuvia, joissa monet tiedot ovat symbolien takana. Kolmiulotteinen malli mahdollistaa suunnittelijoiden ja asiakkaan välisen viestinnän helpottumisen. Tällöin rakenteita voidaan vertailla asiakkaan toiveiden mukaisesti ja tuoda kalliit ongelmakohdat havainnollisesti myös asiakkaan tietoon ja päätöksen avuksi. Haastavat kohdat on myös helpompi tuoda työmaalla esille kolmiulotteisena.

Kolmiulotteisella mallinnuksella voidaan esimerkiksi selvästi osoittaa, että prosessilaitoksen putkiston todellinen 3D-malli lähtötietona on ratkaisevasti parempi kuin 2D-piirustukset. Rakennesuunnittelijan vastuulla on, etteivät rakenteet törmää putkistoon tms. Rakennesuunnittelijan on tarpeellisin kohdin tehtävä rakenteisiin varauksia. Tällainen tarkastelu suuressa kohteessa on paljon työtä ja tarkkuutta vaativaa lähtötietojen ollessa 2D-piirustuksina tai sähköisinä tasokuvina.

Rakennusala on hyvin kilpailtu ala. Lisäksi yleisen taloudellisen kehityksen taantuessa, myös rakentaminen vähentyy. Tällöin julkisyhteisöjen ja yksityisten rakennusprojekteista kilpailee yhä useampi yritys. Rakennusprojektin on siis sujuttava täydellisesti, jotta urakoitsija saa taloudellista hyötyä. Rakentamisen vähentyessä myös tilaajat pystyvät vaatimaan urakoitsijoilta tiukempia aikatauluja ja pienempiä kustannuksia.

Kolmiulotteisessa mallinnuksessa voidaan tehdä kustannusten määräytymisen kannalta tärkeitä suunnitelmia. Sillä säästetään aika, rahaa ja materiaalihukkaa. Lisäksi laatu on parempaa, koska mahdolliset virheet voidaan korjata jo ennen kuin ne syntyvät.

Tässä työssä mallinnettu case-kohde havainnollistaa tietomallinnuksen lukuisia mahdollisuuksia. Tarkoituksena oli myös tarkastella mallinnuksessa ilmeneviä ongelmakohtia. Kyseisestä mallista saadaan nyt vaivatta kaikki lupaprosessiin tarvittavat tussipiirustukset, kuten julkisivu-, leikkaus-, pohja- ja asemakaavakuvat. Lupaprosessiin tarvittavat piirustukset olisi ollut työläs mallintaa yksitellen tasokuvina. Sama malli toimii myös kaavoituksen työkaluna määriteltäessä vaatimuksia rakennuksen julkisivulle.

Tietomallinnus on kehittynyt lyhyellä aikavälillä huomattavasti. Mallinnuksen käyttöönotto rakennusalaalla on kuitenkin edennyt hitaasti. Tietomallinnuksen hyödyt myös jakavat mielipiteitä. Syitä tähän on monia. Tietomallinnus vaatii osaavaa projektijohtoa, koska jos mallista halutaan taloudellista hyötyä, on mallin oltava virheetön.

Tietomallintamista tullaan käyttämään tulevaisuudessa entistä enemmän. Siksi mallintamisen osaamista on kehitettävä edelleen ja samalla varmistettava ohjelmien toimivuus ja helppokäyttöisyys ohjelmistosuunnittelijoille kohdistuvien palautteiden avulla. Haasteita tietomallinnukseen siirtymisessä on muun muassa ohjelmistojen lisenssimaksujen suhteessa kallis hinta esimerkiksi pienille suunnittelutoimistoille.

Suomalaisen rakennusalan toiminta on siirtymässä tuotemallipohjaiseen suuntaan, mutta se ei tarkoita sitä että perinteiset tasopiirustukset häviäisivät, niitä tullaan käytännössä aina tarvitsemaan. Tämän hetkisessä tietomallinnuksessa on paljon hyviä ominaisuuksia, mutta paljon myös kehitettävää.

LÄHTEET

- Anttila, T. 2009. Rambol. Tietomallilla tarkka 3D-kuvaus hankkeesta. [www-sivu]. Ramboll.fi. [Viitattu 11.1.2016]. Saatavissa: http://www.ramboll.fi/~media/files/rfi/product%20brochures/buildings%20and%20design/talo_tietomallilla%20tarkka%203d-kuvaus%20hankkeesta.pdf
- ArchiCAD. 2009. ArchiCAD-tuotemallinnusohje. [Verkkojulkaisu]. mad.fi. [Viitattu 22.3.2016]. Saatavissa: <http://www.mad.fi/mad/tiedostot/pdf/kasikirja13/TM.AC%20-%20ArchiCAD-tuotemallintamisohje.pdf>
- Astbury, J. 2014. Architects do it with models. [Verkkojulkaisu]. The Architectural Review. [Viitattu 11.1.2016]. Saatavana: <http://www.architectural-review.com/rethink/architects-do-it-with-models-the-history-of-architecture-in-16-models/8658964.fullarticle>
- Autodesk 3ds Max. 2016. 3D-mallinnus-, animointi- ja renderointiohjelma. [www-sivu]. autodesk.fi- [Viitattu 12.2.2016]. Saatavissa: <http://www.autodesk.fi/products/3ds-max/overview>
- Azhar, S. 2011. Building information modeling. [Verkkojulkaisu]. ascelibrary. [Viitattu 18.3.2016] Saatavissa: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Azhar, S. 2008. Building information modeling (BIM): A new Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction projects. Pakistan: Karachi.
- Blackwell, B. 2012. Building information modelling. [Verkkojulkaisu]. gov.uk [Viitattu 18.3.2016]. Saatavissa: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/34710/12-1327-building-information-modelling.pdf
- Dispenza, K. 2010. The Daily Life of Building Information Modeling (BIM). [www-sivu]. Buildipedia.com. [Viitattu 16.2.2016]. Saatavissa: <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>
- Enterprie, 2016. [www-sivu] enterprie.com. [Viitattu 22.3.2016]. Saatavissa: <https://www.enterprie.com/supply.aspx>
- Hamil, S. 2011. Isn't BIM just 3D CAD. [www-sivu]. thenbs.com [Viitattu 18.3.2016]. Saatavissa: <https://www.thenbs.com/knowledge/isnt-bim-just-3d-cad>

- Heinisuo, M., Laasonen M. & Haapio J. 2010. BIM based manufacturing cost estimation of building products. [Verkkojulkaisu]. researchgate.net. [Viitattu 18.3.2016] Saatavissa:
https://www.researchgate.net/publication/256426191_BIM_based_manufacturing_cost_estimation_of_building_products
- Hunt, S. 2015. Why is the building-services sector lagging behind in BIM? [www-sivu]. modbs.co.uk [Viitattu 18.3.2016]. Saatavissa:
http://www.modbs.co.uk/news/fullstory.php/aid/14890/Why_is_the_building-services_sector_lagging_behind_in_BIM_.html
- Hunt De Leon, C. 2013. The benefits of using building information modeling in structural engineering. [Verkkojulkaisu]. digitalcommons.usu.edu. [Viitattu 18.3.2016]. Saatavissa:
http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1320&context=graduate_reports
- Jensen, M. 2015 Mechanical and electrical consulting firm Dunham Associates uses Revit MEP Building Information Modeling (BIM) software to design, analyze, and document complex building systems and gain a competitive edge. [Video]. Autodesk.com. [Viitattu 18.3.2016]. Saatavissa:
<http://www.autodesk.com/industry/architecture-engineering-construction/mep-engineering>
- Karstila, K. Rakennusten tuotemallintamisen sanasto. Rakennusteollisuus RT ry:n ProIT-hanke, Syyskuu 2004. 44 s. Saatavilla:
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>
- Lappalainen, J., Sauni, S., Piispanen, P., Rantanen, E., Mäkelä, T., 2009. Rakennustyömaan hyvä turvallisuusjohtaminen. [Verkkojulkaisu, toimintaopas] Työterveyslaitos & VTT [Viitattu 15.3.2016] Saatavissa:
<http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2009/03/julkaisu88.pdf>
- Lumon. 2016. Lumon tarjoaa työkaluja ja asiantuntemusta. [www-sivu]. lumon.com. [Viitattu 22.3.2016]. Saatavissa:
<http://lumon.com/fi/ammattilaiset/suunnittelutyokalut>
- MAD. 2016. ARCHICAD. [www-sivu]. mad.fi. [Viitattu 7.3.2016]. Saatavissa:
<http://www.mad.fi/mad/archicad.html>
- MagiCAD. OP-Pohjolan BIM-palkitun pääkonttorin talotekniikka suunniteltiin MagiCADilla [www-sivu] magicad.com [viitattu 15.3.2016] Saatavissa:
<http://www.magicad.com/fi/content/op-pohjolan-bim-palkitun-paakonttorin-talotekniikka-suunniteltiin-magicadilla>

Murphy, M., McGovern, E. & Pavia, S. 2011. [Verkkajulkaisu]. int-arch.net [Viitattu 15.1.2016]. Saatavissa: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/1/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-1-2011.pdf>

Mäki, T., Rajala, M., Penttilä, H. Tietomallintaminen korjausrakentamisessa. [Verkkajulkaisu] tietoa.fi [Viitattu 15.3.2016] Saatavissa http://www.tietoa.fi/doc/Tietomallintaminen_korjausrakentamisessa.pdf

Nabholz, C. 2012. BIM at Its best. [Verkkajulkaisu]. nabholz.com. [Viitattu 19.3.2016] Saatavissa: <http://www.nabholz.com/bim-at-its-best-the-good-the-bad-and-the-ugly-of-building-information-modeling/>

Nawari, O. 2012 BIM Standard in Off-Site Construction. [Verkkajulkaisu] ascelibrary.org [viitattu 18.3.2016]. Saatavissa: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29AE.1943-5568.0000056>

Niemi E. 2016. [haastattelu] diplomi-insinööri. [Viitattu 10.4.2016].

Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemenoja, T. 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. Yleiset periaatteet. 25-27. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemenoja, S. 2004. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. Helsinki: Rakennustieto Oy

Pilari 2010. 3D-mallinnuksen erikoisnumero. [Verkkajulkaisu]. [viitattu 6.1.2016] Saatavissa: http://www.lipsanen.com/pilarit/Pilari%202010_1.pdf

Pletinckx, D. 2014. Virtual reconstruction. [www-sivu]. wordpress.com. [Viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <https://enameabbey.wordpress.com/2014/06/09/virtual-reconstruction/>

Ratu C2-0299. 2007. Rakennustyömaan aluesuunnittelu. [Ratu-kortti] Helsinki: Rakennustieto Oy. [Viitattu 20.2.2016]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/kortit/0299.html.stx>

RIL 2013. Tietomallinnus. [Verkkajulkaisu] Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL Ry [viitattu 8.1.2016]. Saatavissa: www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html

Romo, I. & Varis, M. 2004. Tuotemallinnus rakennesuunnittelussa. [Verkkajulkaisu]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [Viitattu 15.1.2016]. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_rakennesuunnitteluohje_syyskuu2004.pdf

- RT 10-11068. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset arkkitehtisuunnittelussa [RT-Kortti] Rakennustieto Oy [Viitattu 25.12.2015]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11068.html.stx>
- RT 10-11080. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. Esittely [RT-kortti] Rakennustieto Oy [Viitattu 9.4.2016]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11080.html.stx>
- Shapiro, P. 1988. What does an architect do? [www-sivu]. his.com. [Viitattu:18.3.2016]. Saatavissa: <http://www.his.com/~pshapiro/architects.html>
- Shklyar, D. 2004. 3D Rendering History. [www-sivu]. cgsociety.org. [Viitattu 16.2.2016]. Saatavissa: http://www.cgsociety.org/index.php/CGSFeatures/CGSFeatureSpecial/3d_rendering_history_part_1_humble_beginnings
- Sulankivi, K, Mäkelä, T. & Kiviniemi, M. 2009. Tietomalli ja työmaanturvallisuus [Verkkojulkaisu]. Teknologian tutkimuskeskus VTT. [Viitattu 20.2.2016]. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/projects/turvabim/turvabim_loppuraportti_090312.pdf
- Talebi, S. Exploring advantages and challenges of adaptation and implementation of bim in project life cycle. [Verkkojulkaisu]. citeseerx.ist.psu.edu. [Viitattu 20.3.2016]. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.666.8983&rep=rep1&type=pdf>
- Teittinen, T. 2012. Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta. [Verkkojulkaisu] Tampereen teknillinen yliopisto. [Viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: https://webhotel2.tut.fi/vblab/prodigi/images/4/4b/Erikoityo_raportti_tt.pdf
- TEKLA. 2016. Tekla Structures. [Verkkosivu]. tekla.com [Viitattu 11.1.2016] Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>
- Työturvallisuuskeskus. 2014. [www-sivu] ttk.fi. [Viitattu 18.3.2016] Saatavissa: <http://www.ttk.fi/toimialat/rakennusala/tyotapaturmatilastoja>
- Vertex. 2016. Vertex BD Building Design Software. [www-sivu]. argos.com. [Viitattu 14.3.2016]. Saatavissa: <http://www2.argos.com/>
- VNp 629/1994. 1994. Valtionneuvoston päätös rakenustyön turvallisuudesta.[Lakikokoelma] finlex.fi [Viitattu 15.1.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940629>
- Vertex. 2015. Vertex rakennesuunnittelussa. [Valokuva]. vertex.fi [Verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.vertex.fi/web/fi/rakennussuunnittelu#ark>

Zhang, J.P. 2011. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. [Verkojulkaisu]. sciencedirect.com. [Viitattu 18.3.2016]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580510001421>